



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الفلاحة و البيطرة

Département des Sciences Agrovétérinaires

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Étude bibliographique de la valorisation des
composés bioactifs des déchets du café
(Marc de café) dans l'industrie agroalimentaire

Présenté par :

-Melle Chettouh Khadidja

-Melle Messaoudi Embarka

Devant le jury composé de :

Président : Mr HAMIDI Mohamed

Maître de Conférences (A)

UNIV-DJELFA

Promoteur : Mr BAKHTI Mohamed

Maître-assistant (A)

UNIV-DJELFA

Examinatrice : Mme KHREISSAT Nadjoua

Maître-assistante (A)

UNIV-DJELFA

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



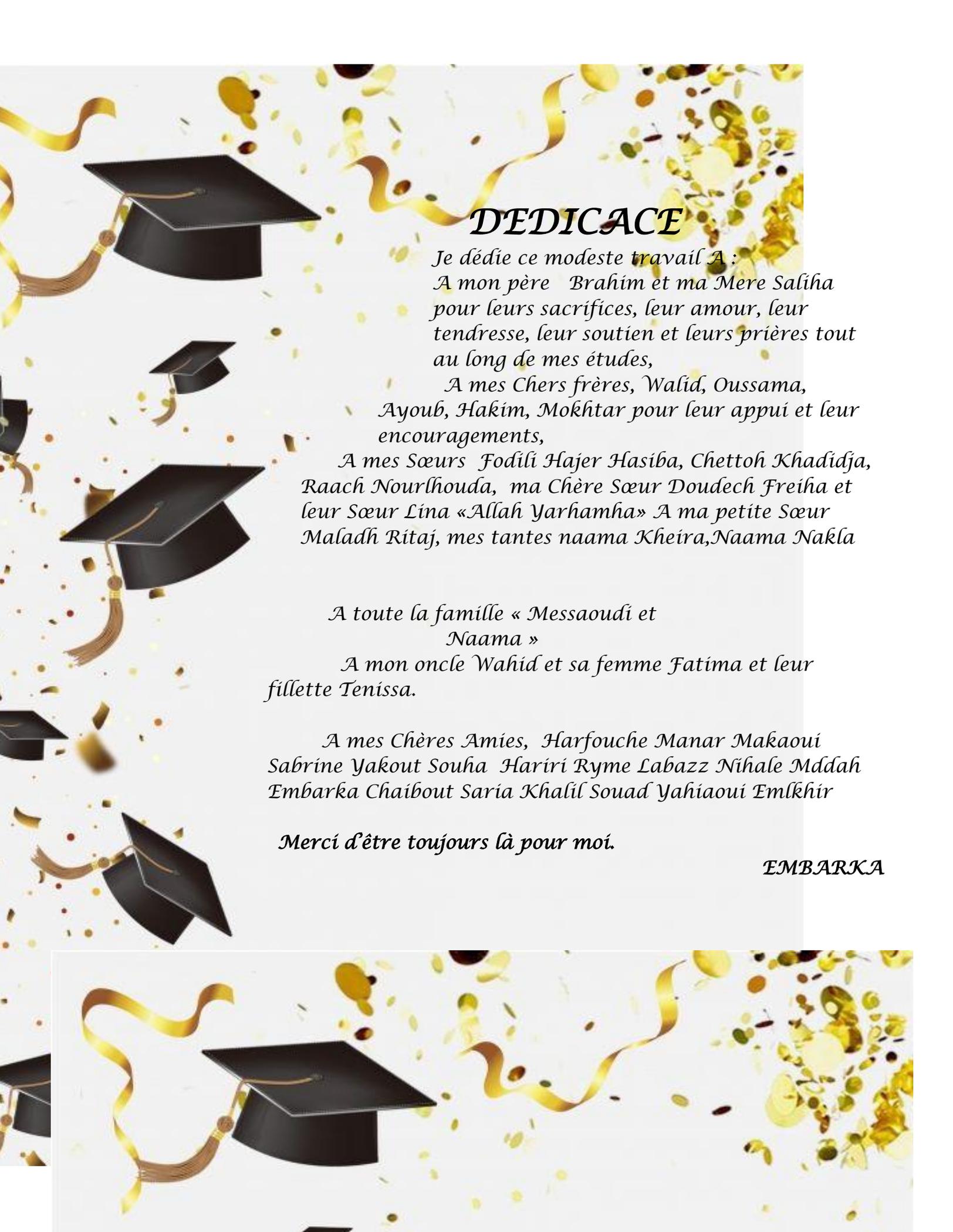


DEDICACE

Je dédie ce modeste travail A :
Mon Père Ben Alia et ma Mère
Freiha , pour tous leurs sacrifices,
leur amour, leur tendresse, leur
soutien et leurs prières tout au
long de mes études,
Mes chers sœurs Sara et Embarka
Hanane et mon oncle Jabara
Abderahmen et leur épouse
Chaabane oum Elkheir et leurs
enfants.
A tous mes amies.

Merci d'être toujours là pour moi.

Khadija

The background of the page is a light cream color, decorated with several black graduation caps (mortarboards) with gold tassels. Scattered throughout are golden confetti pieces, including small circles and streamers, creating a celebratory atmosphere.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail A :

*A mon père Brahim et ma Mere Saliha
pour leurs sacrifices, leur amour, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières tout
au long de mes études,*

*A mes Chers frères, Walid, Oussama,
Ayoub, Hakim, Mokhtar pour leur appui et leur
encouragements,*

*A mes Sœurs Fodili Hajar Hasiba, Chettoh Khadidja,
Raach Nourlhouda, ma Chère Sœur Doudech Freiha et
leur Sœur Lina «Allah Yarhamha» A ma petite Sœur
Maladh Ritaj, mes tantes naama Kheira, Naama Nakla*

*A toute la famille « Messaoudi et
Naama »*

*A mon oncle Wahid et sa femme Fatima et leur
fillette Tenissa.*

*A mes Chères Amies, Harfouche Manar Makaoui
Sabrine Yakout Souha Hariri Ryme Labazz Nihale Mddah
Embarka Chaibout Saria Khalil Souad Yahiaoui Emlkhir*

Merci d'être toujours là pour moi.

EMBARKA

Remerciements

2022

Nos sincères remerciements s'adressent à Allah le grand merci lui revient pour son aide et la volonté qu'il nous a donnée pour surmonter tous les obstacles et les difficultés durant nos années d'études et de nous avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.

En premier lieu, je remercie notre encadreur M. BAKHTI M pour avoir encadré efficacement ce mémoire Je le remercie pour ses discussions utiles et fructueuses, et pour la confiance qu'il nous accordée et ses encouragements et ses multiples conseils qui nous a donnés envie de réaliser ce travail dans les meilleures conditions. Nos remerciements vont aussi aux membres du jury : Dr Hamdi M et Mme Khreissat N pour avoir accepté de juger ce travail.

Chettouh Khaddja et Messaoudi Embarka



Table des matières

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	01
<i><u>Chapitre I : Généralités sur le café</u></i>	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Historique.....	04
I.3. Description du caféier.....	04
I.4. Classification botanique des caféiers.....	05
I.5. Caractéristiques génétiques des caféiers.....	07
I.6. Pays de production et sa répartition géographique.....	08
I.7. Production et consommation du café.....	09
I.8. Exigences géographiques et culture.....	11
I.9. Morphologie du fruit, de la graine et de la plantule.....	13
I.9.1. Graine de café.....	13
I.9.2. Plantule de la graine de café.....	15
I.11. Composés chimiques bioactifs.....	17
I.11.1. Acides chlorogéniques.....	17
I.11.2. Caféine.....	18
I.11.3. Les glucides.....	18
I.11.4. Les lipides.....	18
I.11.5. Les Protéines.....	19
I.11.6. Les phénoliques.....	19
I.11.7. Les minéraux.....	20
I.11.8. Les Vitamines.....	21
I.11.9. La trigonelline.....	21

Table des matières

I.12.Méthode de traitement du café.....	21
I.13. I.13. Déchets issus de la récolte et de la consommation du café.....	25
I.13.1. Pulpe de café.....	26
I.13.2. Cerise de café.....	26
I.13.3. Pellicule argentée.....	26
I.13.4. Le Marc de café	27
I.14. Avantages et inconvénients du consommation du café.....	28
I.15. Conclusion.....	31
Références bibliographiques	32
<u><i>Chapitre II : Aperçu sur le marc de café</i></u>	
II.1. Introduction.....	36
II.I.2.Définition et Généralités.....	37
II-3- Propriétés du marc de café	37
II-3-1-Propriétés physiques du marc de café	37
II.3.2. Propriétés chimiques du marc de café	39
II.3.2. 1. Composition élémentaire du marc de café	40
II.3.2.2. Principaux composés du marc de café	41
II.3.2.3 . Composition des principaux minéraux du marc de café.....	42
II.4. Propriétés bioactives du marc de café.....	44
II.5. Marc de café comme source de composés bioactifs.....	46
II.6. Classification et synthèse des composés bioactifs.....	49
II.7. Extraction des composés bioactifs.....	50
II .7.1. Techniques d'extraction conventionnelles.....	51
II.7.2. Nouvelles technologies.....	53
II.8.Caractérisation, isolement des constituants mineurs biologiquement actifs présents dans le marc de café.....	55
II.9. Écotoxicité.....	57
II.10. Conclusion.....	58
Références bibliographiques.....	59

Table des matières

<u><i>Chapitre III : Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire</i></u>	
III.1. Introduction	67
III.2. Généralités.....	68
III.3. Domaines de valorisation du marc de café	68
III. 3.1. Santé et alimentation	68
III.3.1.1. Santé et Cosmétique	69
III.3.1.2. Alimentation Humaine et Industrie Alimentaire	71
III.3.1.3. Alimentation animale	74
III.4. Récupération des composés du marc de café.....	74
III.4.1. Récupération d'huile.....	74
III.4.2. Récupération des polysaccharides.....	75
III.4.3. Récupération des composés phénoliques.....	75
III.6.2. Récupération des polysaccharides	80
III.6.3. Récupération des composés phénoliques.....	81
III.4.4. Récupération des tanins	76
III.4.5. Récupération de caféine.....	76
III.5. Marc du café comme substrat pour les produits à valeur ajoutée.....	77
III.6. Applications des composés bioactifs de marc du café.....	80
III.6.1. Activité anti Microbienne du marc de café.....	80
III.6.2.. Application Marc de café dans les polymères.....	81
III.7. Activité antioxydante du marc de café	84
III.8. Application du marc de café dans divers domaines.....	85
III.9. Conclusion.....	87
Références bibliographiques.....	88
Conclusion générale.....	95
الملخص	
Résumé	
Abstract	

Listes des tableaux

Numéro	Intitulé	Page
	<u>Chapitre I</u>	
Tableau I.01 :	Importations et exportations de café dans le monde en 2020-2021.	10
Tableau I.02 :	Facteurs topographiques et conditions environnementales influencer dans le monde entier production d'Arabica et Café Robusta.	11
Tableau I.03 :	Composition chimique des grains de café verts selon la variété (% de MS).	16
Tableau I.04:	Principaux effets physiologiques de la caféine .	29
	<u>Chapitre II</u>	
Tableau II.01 :	Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité.	38
Tableau II.02 :	Etudes récentes sur les compositions élémentaires Du marc de café.	40
Tableau II.03	Principaux composés du marc de café .	41
Tableau II.04	Composition des principaux minéraux du marc de café.	43
Tableau II.05	Activité radicalaire du marc de café.	44
Tableau II.06	Composés poly phénoliques identifiés dans les MC.	45
Tableau II.07	Techniques d'extraction conventionnelles des composés bioactifs.	52
Tableau II.08	Nouvelles technologies d'extraction des composés bioactifs.	54

Listes des tableaux

Tableau II.09	Extraction de différents matériaux phénoliques des MC.	56
<u>Chapitre III</u>		
Tableau III.01	Utilisations du marc de café dans la production alimentaire.	73
Tableau III.02	Quelques applications récentes du MC comme charges dans les polymères.	83

Listes des figures

Figure	Intitulé	Page
	<i><u>Chapitre I</u></i>	
Figure I.01:	Fleurs, Feuilles et Fruits du Coffea arabica .	05
Figure I.02:	Fleurs, Feuilles et Fruits du Coffea canephora.	05
Figure I.03:	Organigramme de classement botanique du genre Coffea.	07
Figure I.04:	Distribution géographique de la production et de la consommation mondiale du café .	09
Figure I.05:	Répartition géographique de la culture du café .	12
Figure I.06:	Structure du fruit de la graine du caféier.	14
Figure I.07:	Structure chimique de l'acide chlorogénique.	17
Figure I.08:	Molécule de la caféine.	18
Figure I.09:	Structure de quelques composés phénoliques.	20
Figure I.10:	Molécule de la trigonelline.	21
Figure I.11:	Étapes de traitement du processus à sec.	23
Figure I.12:	Étapes de traitement « Voie humide » et « Voie semi-humide ».	24
Figure I.13:	Pulpe de café.	25
Figure I.14:	Cerise de café.	26
Figure I.15:	Pellicule argentée.	27

Listes des figures

Figure I.16	Marc de café.	27
Figure I.17	Impact de la consommation de café sur la santé humaine.	30
<u>Chapitre II</u>		
Figure II.01	Figure II.1 : Grain de marc de café commercial par microscopie électronique à balayage.	37
Figure II.02:	Composition principale du marc de café (composition exprimée en g/100 g de matière sèche.	39
Figure II.03	Structures générales des différentes catégories de composés bioactifs végétaux.	50
<u>Chapitre III</u>		
Figure.III.01	Bioraffinerie de marc de café et voies de valorisation possibles .	86

Liste des abréviations

ACG	Acides chlorogéniques
AFS	Aflatoxines
ABTS	Mesurée avec le radical
BCAA	Acides aminés à chaîne latérale ramifiée
DPPH	Capacité de piégeage des radicaux
FTIR	Transformé de Fourier infrarouge
EAG	Équivalent acide gallique
HHV	Pouvoir calorifique supérieur
LC	Lignocellulosiques
MOS	Mann oligosaccharide
MC	Marc de café
MS	Matière sèche
NA	Non disponible
ppm	Parti par million (mg/l)
PHA	Polyhydroxyalcanoates
TDF	Teneur totale en fibres alimentaires

Introduction
Générale

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le café est un produit agricole, largement consommé comme boisson et également le 2^e produit après le pétrole et ses dérivés (**BANU *et al.*, 2021**) ; mais sa production, sa transformation et sa consommation génèrent d'énormes quantités de résidus (**PESHEVA *et al.*, 2018**).

Les perspectives provisoires de la production totale de l'année caféière 2021/22 restent inchangées à 167,2 millions de sacs, soit une baisse de 2,1% par rapport aux 170,83 millions de sacs de l'année caféière précédente. La consommation mondiale de café devrait augmenter de 3,3% pour atteindre 170,3 millions de sacs de 60 kg en 2021/22 par rapport à 164,9 millions pour l'année caféière 2020/21. En 2021/22, la consommation devrait dépasser la production de 3,1 millions de sacs (**ICO, 2022**).

D'après le conseil international du café, L'Algérie a consommé en moyenne 2 131 milliers de sac de 60kg de café au cours de l'année 20/21, avec une augmentation de 3.7% pendant la période (2017/18-2020/21) (**ICO, 2021**).

L'un des résidus obtenus lors de la transformation ou de la production de café est connu sous le nom de marc de café ; près de 50% du café mondial produit est transformé pour la préparation de café soluble. En moyenne, une tonne de café vert génère environ 650 kg de marc de café, et environ 2 kg de marc de café humide sont obtenus pour chaque kg de café soluble produit. Le marc de café est plus riche en sucres et contenant du mannose et du galactose ainsi qu'une fraction significative de protéines. La composition chimique varie d'une plante à l'autre et dans différentes parties de la même plante. Il varie également au sein des plantes de différents emplacements géographiques, âges, climat et conditions du sol. La connaissance des propriétés physiques et chimiques mènera à une meilleure compréhension de l'application du café. (**MURTHY et NAIDU, 2012**).

Le déchet du marc de café suscite particulièrement un intérêt croissant pour les raisons suivantes :

- Ils contiennent un grand nombre de composés organiques (plus de 1000 composants individuels) qui peuvent être classés en glucides, protéines, lipides, minéraux, composés azotés non protéiques et phénoliques :
- Leur granulométrie permet une élimination rapide des substances respectives de la matrice par un solvant approprié ;

INTRODUCTION GENERALE

- Ce sont des déchets disponibles en quantité énorme (6 millions de tonnes par an) et à bas prix. **(PESHEVA *et al.*, 2018).**

Notre travail s'inscrit dans une démarche d'une économie verte ou bioéconomie circulaire suivant le cadre de la protection de l'environnement et du développement durable.

L'objectif de ce travail est de réaliser une synthèse bibliographique sommaire sur les différentes voies de valorisation du marc de café, en générale et tout particulièrement le secteur de l'alimentation ; et ceci dans le contexte de la protection de l'environnement et du développement durable.

Ce travail de mémoire est structuré autour de trois axes :

- Le premier axe qui forme le premier chapitre est un inventaire bibliographique non exhaustif et incomplet sur une synthèse bibliographique abrégée et bref où le fruit du café est décrit du point de vue botanique, végétale et écologique.
- Le deuxième axe qui compose le deuxième chapitre porte sur une synthèse bibliographique non complète sur les propriétés physicochimiques et la compositions chimique du marc de café et les molécules bioactives que recèle ce déchet de consommation.
- Le troisième axe qui compose le troisième chapitre est consacré aux applications dans le domaine alimentaire en particulier du marc de café brut ou traité ; et aux composés bioactifs obtenus après extraction.

Une conclusion générale termine ce travail et est suivie de recommandations.

A circular graphic with a burlap texture background. The bottom portion of the circle is filled with dark brown coffee beans. The text is centered within the circle.

Chapitre I :
Généralités sur le
Café

I.1. Introduction

Le café appartient à la famille *Rubiaceae*, sous-famille *Cinchonoideae*. Les membres des Rubiacées sont en grande partie tropicaux ou subtropicaux comprenant près de 400 genres et 4800 à 5000 espèces. Botaniquement, le café appartient au genre *Coffea* de la famille des Rubiacées. Le sous-genre *Coffea* comprendrait plus de 80 espèces, qui sont répandues en Afrique et à Madagascar. De toutes, les deux espèces *C. arabica* et *Coffea canephora* ont acquis une importance commerciale et sont les variétés les plus cultivées dans le monde (PATIL *et al.*, 2022).

Le café est consommé par environ 40 % de la population mondiale (MUSSATTO *et al.*, 2011). Les exportations de toutes les formes de café par l'ensemble des pays exportateurs vers toutes les destinations ont totalisé 10,7 millions de sacs de 60 kg en juillet 2021, soit une augmentation de 1,7% par rapport aux 10,5 millions de sacs de juillet 2020. Le niveau des exportations totales en juillet 2021 est inférieur de 4,4% au volume de 11,9 millions de sacs enregistré en juillet 2019, avant la pandémie. (ICO, 2021).

La consommation mondiale de l'année caféière 2020/21 est estimée à 167,01 millions de sacs, soit une augmentation de 1,9% par rapport au niveau de 163,9 millions de sacs enregistré pendant l'année caféière 2019/20, et une baisse de 0,3% par rapport aux 167,6 millions de sacs observés pendant l'année caféière 2018/19 avant la pandémie. (ICO, 2021).

Le but de ce premier chapitre est de réaliser une synthèse bibliographique non exhaustive sur le caféier du point de vue botanique, agronomique, écologique et industriel d'une part, et d'autre part avoir un aperçu sur la composition biochimique et les propriétés nutritionnelles du café et l'impact de sa consommation sur la santé humaine.

Ce premier chapitre est sectionné en quatre volets :

- La première partie porte sur une étude sommaire sur la botanique, l'agronomie du caféier, l'industrie du café, ainsi que sa production et sa consommation dans le monde ;
- La deuxième partie est consacrée à l'étude de la composition chimique du café ;
- La troisième partie s'intéresse aux déchets et les sous-produits générés par la récolte, la transformation et la consommation du café ;
- La dernière partie traite des avantages et inconvénients de la consommation du café et ses effets sur la santé humaine.

I.2. Historique

Le café est originaire d'Éthiopie, puis s'est répandu en Égypte, au Yémen, en Italie et dans toute l'Europe. Le café a continuellement gagné une place dans le monde. À l'échelle mondiale, le café est le deuxième produit le plus échangé après le pétrole. Il est principalement produit sous les tropiques et consommé dans la région tempérée. Trois espèces de café dominent ainsi le marché international ; L'Arabica (*Coffea Arabica*) 70% a la plus haute qualité en termes de goût et d'arôme, le Robusta (*Coffea Canephora*) 28% à la teneur en caféine la plus élevée et *Coffea Liberica* 2% (IJANU *et al.*, 2020).

Au 15^e siècle, le café était cultivé dans le district yéménite de l'Arabie, puis fit son entrée en Perse, en Égypte, en Syrie et en Turquie dès le 16^e siècle. C'est avec les milliers de pèlerins du monde entier qui se rendaient à La Mecque que le café s'est fait connaître. On l'appelait autrefois le « vin d'Araby ». (SCHWANKNER, 2019). La province de Kaffa en Éthiopie est considérée comme l'habitat d'origine du café Arabica et l'Afrique centrale est considérée comme le pays originaire du café robusta. Avec une culture extensive et largement répandue du café à travers le monde. (MURTHY et NAIDU, 2012).

I.3. Description du caféier

Parmi la centaine d'espèces de caféiers répertoriées, seulement deux espèces produisent 99% du café consommé dans le monde : *Coffea arabica* L. et *Coffea canephora* Pierre. Ces deux espèces représentent respectivement 65 % et 35 % de la production mondiale, D'autres espèces comme *C. liberica* Bull. ex : *Hiern* et *C. congensis* A. *Frohner* et leurs hybrides *Congusta* sont aussi cultivées, mais leur production est résiduelle au regard des deux espèces précédemment citées. Le Brésil est le plus gros producteur de café Arabica, tandis que *C. canephora* est surtout cultivé au Vietnam, au Brésil et en Indonésie (ADLER, 2014). (Figure I.1.1 et Figure I.1.2) (PATIL *et al.*, 2022).



Figure I.1 : Fleurs, Feuilles et Fruits du Coffea arabica (PATIL *et al.*, 2022)



Figure I.2 : Fleurs, Feuilles et Fruits du Coffea canephora (PATIL *et al.*, 2022)

I.4. Classification botanique des caféiers

Les caféiers sont des arbres ou arbustes endémiques des forêts intertropicales. Ils appartiennent à la famille des Rubiaceés et à la tribu des Coffeae. Sur la base des caractéristiques florales, la tribu des Coffeae a été scindée en deux genres : Coffea L. et Psilanthus Hook.f (ADLER., 2014). Le genre Coffea L., est caractérisé par ses graines à placentation « cofféenne » *Idem.*

Depuis lors, de nombreux remaniements ont été apportés sur la classification taxonomique des caféiers. Les fleurs des espèces du genre Coffea, défini alors, ont des anthères et des stigmates externes ainsi qu'un long style. En revanche, dans le genre Psilanthus, les fleurs ont des anthères et des stigmates inclus dans le tube de la corolle qui entourent un style court. Chacun de ces deux genres a été alors subdivisé en sous-genres. Le genre Coffea comprend alors le sous-genre Coffea (présent en Afrique de la Guinée à la Tanzanie et de l'Ethiopie au Mozambique, à Madagascar, aux Comores et dans les Iles des Mascareignes) et le sous-genre Baracoffea Leroy (présent uniquement dans l'ouest de Madagascar) *Idem*.

Le genre Psilanthus qui regroupe les sous-genres Psilanthus et Afrocoffea P. Moens est composé de 20 espèces réparties d'Afrique de l'Ouest au Nord de l'Australie *Idem*.

Des travaux récents, basés sur l'étude de séquences d'ADN nucléaire et plastidique, ont permis de regrouper les deux sous-genres Coffea et Baracoffea dans le genre Coffea *Idem*.

Enfin, concernant la tribu Coffeae, des travaux encore plus récents ont montré que la division en genres Coffea et Psilanthus était obsolète *Idem*.

ces deux genres étant désormais regroupés sous le genre Coffea. Cette nouvelle classification permet d'y inclure un total de 124 espèces et d'étendre la distribution géographique à l'Asie et à l'Australie, nous nous en tiendrons à l'ancien sous-genre Coffea tel que défini par Leroy/Bridson *Idem*.

Chapitre I : Généralités sur le café

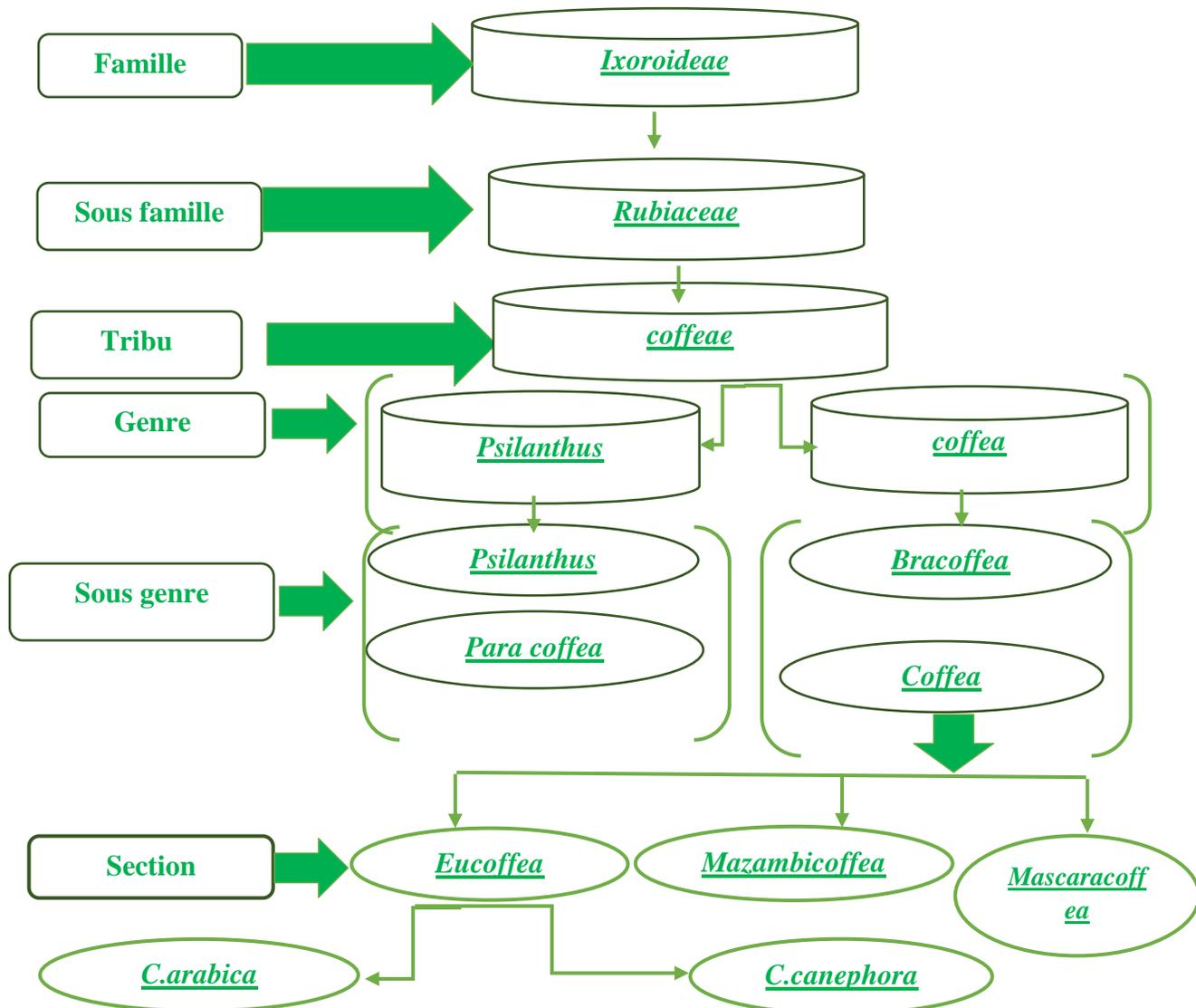


Figure. I.3 : Organigramme de classement botanique du genre *Coffea* (VESTALYS, 2018). Modifié.

I.5. Caractéristiques génétiques des caféiers

Les espèces appartenant au genre *Coffea* sont toutes diploïdes ($2n = 2x = 22$) à l'exception de *C. Arabica* qui est amphidiploïde ($2n = 4x = 44$) (ADLER.,2014).

Ce dernier serait issu de l'hybridation entre *C. Canephora* (parent mâle) et *C. eugenioides* Moore (parent femelle) ou des écotypes proches (LASHERMES *et al.*, 1999).

Les onze chromosomes du génome de base sont de petite taille (BOUHARMONT, 1963).

I.6. Pays de production et sa répartition géographique

Le Brésil est actuellement le plus grand producteur et exportateur de café au monde. (MURTHY et NAIDU, 2012) ; avec la Colombie ils sont les deux principaux pays producteurs mondiaux. C'est pourtant une plante originaire d'Afrique tropicale et d'Afrique de l'Est, qui est aujourd'hui cultivée dans des endroits chauds parmi lesquels l'Amérique du Sud, l'Asie Tropicale et aujourd'hui encore en Afrique. Le caféier se cultivé entre septembre et novembre.

L'espèce *Coffea arabica* porte mal son nom puisqu'elle n'est pas originaire du sud de l'Arabie comme le prétendait Linné mais elle provient des hauts plateaux de l'Ethiopie (1300 à 1900 mètres d'altitude), ce qui est une altitude favorable au développement de cette espèce (HUYGHE.,2014). Ainsi, l'espèce *Coffea arabica* est uniquement cultivée dans les zones d'altitude. On la retrouve en Afrique (Cameroun, Congo, Ethiopie, Kenya, Nyassaland, Rwanda et Tanzanie), en Amérique (Colombie, Costa Rica, Equateur, Guatemala, Honduras, Mexique, Nicaragua, Panama, Paraguay, Pérou, San Salvador, Venezuela), et en Asie (Inde, Indonésie, Laos, Vietnam, Yémen) *Idem*.

L'espèce *Canephora*, quant à elle, est originaire du bassin du Congo. Pour qu'elle puisse se développer, cette plante a besoin de chaleur et d'humidité. C'est pourquoi elle est aujourd'hui cultivée dans les zones de basses et moyennes altitudes. Ainsi, on la retrouve en Afrique (Angola, Côte d'Ivoire, Guinée, République centrafricaine), en Amérique du Sud notamment au Brésil mais également en Asie (Inde, Indonésie, Nouvelle-Calédonie, Philippines) *Idem*.

Le caféier requiert le climat chaud et humide des régions tropicales ou subtropicales. La culture du caféier trouve son terrain de prédilection dans la ceinture équatoriale délimitée par les 30° parallèles Nord et Sud (Figure.I.03). L'arbuste peut atteindre 6 à 8 m. A la floraison, les fleurs se disposent par groupes et donnent naissance à des fruits communément appelés cerise. Les cerises mesurent jusqu'à 8 mm de longueur et 10-25mm de diamètre. (DURAND, 2012).

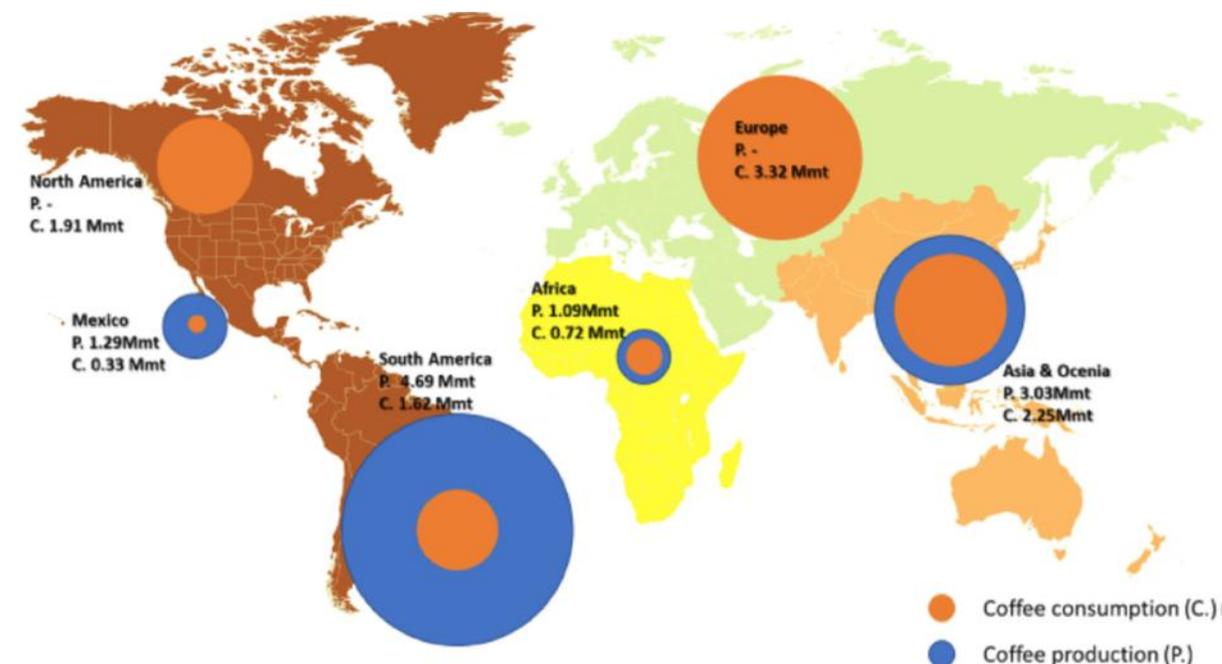


Figure. I.4 : Distribution géographique de la production et de la consommation mondiale du café (Mmt : million de tonnes métriques) (BATTISTA *et al.*, 2020)

I.7. Production et consommation du café

D'après les estimations les plus récentes de l'organisation internationale du café (ICO, 2021). En 2020/2021, environ 166,346 millions de sacs de café de 60kg ont été consommés mondialement, c'est l'équivalent de 9,98 milliards kg, soit une légère augmentation par rapport aux 164 millions de sacs de l'année précédente. Le Brésil est le plus grand producteur de café au monde avec 3804000000 tonnes de production par an, et le Vietnam arrive en deuxième position avec 1740000000 tonnes de production annuelle (ICO, 2021).

Parmi les pays arabes l'Algérie est le premier consommateur de café en 2020/2021 ayant importé 127860000 tonnes suivie de l'Arabie saoudite par 75180000 tonnes et le Maroc par 46800000 tonnes de café. (ICO, 2021). D'après le graphique de la (Figure. I.03), nous pouvons constater que le l'Amérique du sud représente la première région du monde concernant la production du café ; et l'Europe est en tête du classement pour celle de la consommation. Le tableau ci-dessous montre également la quantité de café dans les pays exportateurs et les pays importateurs.

Chapitre I : Généralités sur le café

Les perspectives provisoires de la production totale de l'année caféière 2021/22 restent inchangées à 167,2 millions de sacs, soit une baisse de 2,1% par rapport aux 170,83 millions de sacs de l'année caféière précédente. La consommation mondiale de café devrait augmenter de 3,3% pour atteindre 170,3 millions de sacs de 60 kg en 2021/22 par rapport à 164,9 millions pour l'année caféière 2020/21. En 2021/22, la consommation devrait dépasser la production de 3,1 millions de sacs (ICO, 2022).

Tableau I.1 : Importations et exportations de café dans le monde en 2020-2021(ICO, 2021).

Exportation	2020/2021	Importation	2020/2021
Pays exportateurs	50 666	Pays importateurs	115 680
Brésil	22 400	Union européenne	40 251
Indonésie	5 000	Les États-Unis d'Amérique	26 982
Éthiopie	3 798	Japon	7 386
Philippines	3 312	Fédération Russe	4 681
Viet Nam	2 700	Canada	4 011
Mexique	2 420	République de Corée	2 513
Colombie	2 045	Australie	1 962
Venezuela	1 100	Algérie	2 131
Inde	1 485	Turquie	1 754
Thaïlande	1 415	Arabie Saoudite	1 253
Guatemala	403	Ukraine	1 379
République dominicaine	383	La Suisse	1 074
Madagascar	377	Norvège	924
Honduras	375	Maroc	780
Costa Rica	353	Taiïwan	725
Haïti	341	Liban	452
Côte d'Ivoire	317	Afrique du Sud	655
Salvador	295	Égypte	1 279
Pérou	250	Argentine	644
Ouganda	263	Soudan	702
Autres	1634	Autres	14 144

I.8. Exigences géographiques et culture

Les sols rouges et latéraux à texture limono-sableuse, en bio riches avec un pH neutre à acide sont encourageants pour la croissance et la culture du café. Les sols sont complétés par le potassium, calcium et magnésium. Chaulage, fumure et d'autres techniques de gestion des sols les rendent bien adaptés pour une productivité élevée. Le sol doit être épais (75 cm), bien drainé, légèrement acide et riche en matière organique pour de bon café, Paramètres géographiques tels que la température, les précipitations, l'altitude et l'humidité atmosphérique peuvent avoir beaucoup effet plus important sur la production économique du café que les facteurs liés au sol (PATIL *et al.*, 2022) (Tableau.I.1).

Tableau. I.2 : Facteurs topographiques et conditions environnementales influencer dans le monde entier production d'Arabica et Café Robusta (PATIL *et al.*, 2022)

Facteur	Arabica	Robusta
Altitude	1000–1500 m	500–1000 m
Rampes	Pente douce à moyenne	Champs également pairs
Sol	Profond, abondant en matière organique, bien Drainé, pH 6,0–6,5	Profond, riche en matière organique, bien Drainé, pH 6,0–6,5
Température	15–25 °C, frais	20–30 °C chaud, humide
Humidité relative	70–80%	80–90%
Pluie annuelle	1600–2500 mm	1000–2000 mm
Ombre	Teinte moyenne à claire (selon Altitude et caractéristiques	Teinte fine uniforme
Exposition au vent	Sensible	Sensible
Grêlons	Blessures dans les parties florales et végétatives	Blessures dans les parties florales et végétatives

Chapitre I : Généralités sur le café

Le rapport feuille/fruit sur *C. arabica* et *C. canephora* a été trouvé à 1 :3 et 1 :6, respectivement. Selon la chute des baies et défoliation, ce rapport peut différer selon saisons. Il doit y avoir un bon équilibre entre les feuilles et nombre de fruits dans une plante. Si le nombre de fruits est supérieur que ce que la plante pourrait supporter (surcharge), cela conduira à la déformation des cultures et au dépérissement de la saison prochaine. Par conséquent, il est nécessaire de maintenir un bon rapport feuilles/fruits qui maintiendra la récolte pendant plusieurs saisons sans produire effet néfaste sur la santé de la brousse. En manipulant/ taille équilibre entre croissance végétative et reproductive peut être atteint. Cependant, les nœuds sans feuilles peuvent supporter Fruits, car les glucides sont facilement transloqués d'une région à une autre en fonction du quantum stocké dans Bois (**PATIL *et al.*, 2022**).

Le caféier se multiplie par semence. La germination se fait entre 4 et 8 semaines. Ensuite, on repique les jeunes plants dans une pépinière. Dix mois plus tard, les plants atteignent environ 30 centimètres de hauteur. A ce stade, ils sont prêts à être mis en terre pour créer une plantation, l'agrandir ou remplacer les caféiers morts ou trop vieux. La plantation du caféier, nommée la caféière, (**HUYGHE, 2014**).

La culture du caféier trouve son terrain de prédilection dans la ceinture équatoriale délimitée par les 30e parallèles Nord et Sud (**Figure II.02**). (**DURAND, 2012**).

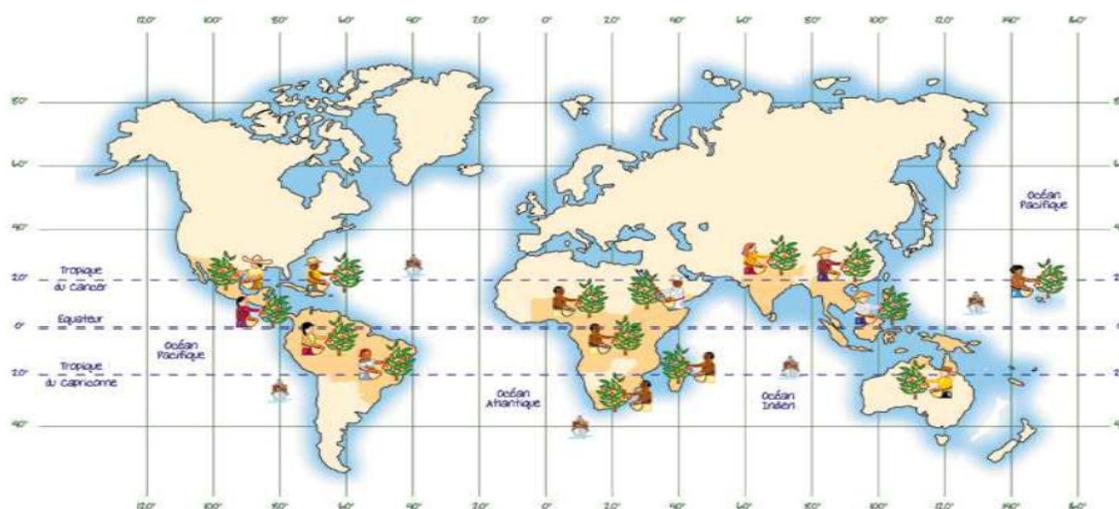


Figure I.5 : Répartition géographique de la culture du café
(**DURAND, 2012**)

I.9. Morphologique du fruit, de la graine et de la plantule

I.9.1. Graine de café

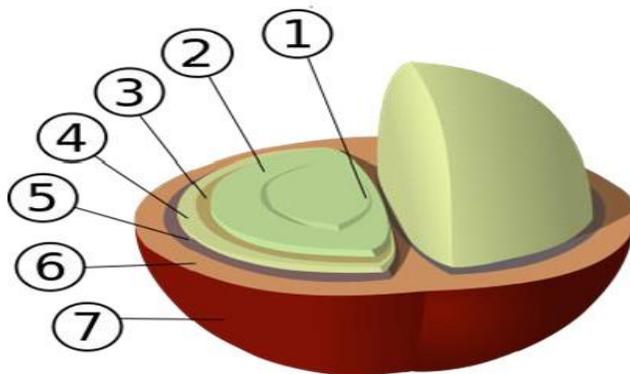
Contenues dans des fruits appelés cerises de café, également appelées baies de café. Ils sont obtenus à partir de caféiers ou d'arbustes. Il y en a deux dans le commerce exploré des espèces de caféiers, dont *Coffea arabica* (Arabica) et *Coffea canephora* (Robuste). Ceux-ci sont connus commercialement sous le nom d'arabica et comme café robusta (MUSSATTO *et al.*, 2011).

Le fruit du café se développe en une cerise de 10–15 mm de long contenant deux graines, c'est-à-dire des grains de café. Les haricots sont des graines elliptiques ou en forme d'œuf contenant de l'endosperme et des embryons. Le grain de café est enfermé dans couches de péricarpe. Là encore, le péricarpe est composé des couches externes de l'exocarpe, du mésocarpe et de l'endocarpe du caféier. Celles-ci les couches externes sont la peau du café (exocarpe), la pulpe du café (mésocarpe), le café parchemin (endocarpe) et La peau d'argent de café ; respectivement de l'extérieur vers la graine (ESQUIVEL et JIMENEZ, 2012).

Le traitement du café commence par l'élimination de ces composants externes de la cerise de café, soit par des méthodes sèches ou humides afin d'obtenir le grain de café (FERREIRA *et al.*, 2019).

La peau des fruits du café est une peau la plus externe constituée d'une monocouche de cellule compacte avec une substance cireuse. Cette partie du café est colorée couverture de rouge, jaune ou rose qui offre un look attrayant pour mûrir des fruits. La couleur peut varier selon la variété. La pulpe de café est charnue tissu mou trouvé entre la peau et le parchemin. Il est divisé en un mésocarpe interne, appelé mucilage, et un mésocarpe externe, qui est appelé la pulpe en soi. Il est éliminé au cours du processus de réduction en pâte (FERREIRA *et al.*, 2019). Les fruits du café sont constitués de métabolites primaires et secondaires du caféier qui s'accumulent inégalement dans toutes les parties du fruit. Comme de nombreux aliments d'origine végétale, les grains de café sont principalement (environ 50 %) composé de polysaccharides comme la cellulose et les hémicelluloses. Ils contiennent également une quantité importante de glucides solubles (fructose, glucose, galactose et arabinose, raffinose et stachyose, et polymères de galactose, mannose, arabinose et glucose). Les oligosaccharides, les

dont le composant principal est le saccharose (plus de 90%) se retrouve également dans le café. Aussi, les huiles et les cires, les protéines, les acides aminés libres, les acides aliphatiques (volatils et non volatils) et des minéraux sont présents dans le café (ESQUIVEL et JIMENEZ, 2012).



1 : sillons centraux, 2 : grain de café (endosperme), 3 : peau du grain (tégument), 4 : parchemin (endocarpe), 5 : couche de pectine, 6 : pulpe : (mésocarpe), 7 : peau du fruit (exocarpe).

Figure. I .6 : Structure du fruit de la graine du caféier (DURAND, 2012)

Le péricarpe est composé d'un exocarpe (ou épicarpe), un mésocarpe et un endocarpe. Cette organisation de tissus apparaît très tôt dans le développement du fruit (taille du fruit d'environ 2mm) et est conservée jusqu'à maturité. L'exocarpe, la partie la plus externe du fruit, est constitué d'une seule couche de cellules quadrangulaires (ADLER., 2014).

Le mésocarpe, appelé aussi pulpe, est riche en sucres et en eau. Il peut être divisé en trois zones distinctes : la plus externe est du tissu parenchymatique avec des cellules rondes aux parois épaisses, puis vient une région avec des cellules aux parois fines de formes polygonales et enfin, la plus interne est l'endocarpe *Idem*.

Dans la graine, le périsperme (le tissu maternel) se développe à partir du nucelle de l'ovule juste après la fécondation et remplit la loge pendant la croissance du fruit. Cinq à six

semaines après la floraison les premières divisions de l'endosperme apparaissent et il devient visible au moins à partir de 12 semaines après floraison (SAF) *Idem*.

À partir de là, l'endosperme, qui est un tissu triploïde d'origine non-sporophytique, se développe et remplace progressivement de périsperme. A la fin de la croissance, l'endosperme occupe la totalité de la loge et le périsperme forme une fine pellicule argentée de 70µm entourant l'album *Idem*.

I.9.2. Plantule de la graine de café

La germination sensu stricto de la graine se termine quand la radicule émerge. Sa protrusion commence entre cinq et six jours après imbibition chez les graines de *C. arabica* en conditions optimales (graines sans parche, imbibition pendant 48h, croissance à obscurité, 30°C). Après dix jours, la protrusion de la radicule concerne 50% de la population. Quinze jours après imbibition, la germination est terminée pour la majorité des graines (ADLER., 2014).

I.10. Composition chimique du *Coffea arabica* et *Coffea robusta*

Le grain de café vert est constitué, pour 50 % de glucides, notamment des polysaccharides. Les protéines représentent 11% de la masse sèche du grain de café vert, les lipides sont présents à hauteur de 10 à 18% On note une fraction insaponifiable de lipides bruts importante : outre les stérols, les hydrocarbures, les tocophérols, on observe la présence d'alcools diterpéniques (cafestol, kahwéol, et dérivés kauraniques) à l'état libre et surtout, à l'état d'esters d'acides gras. Ils sont libérés au contact de l'eau chaude. Leur concentration diffère selon le mode de préparation du café ; ainsi, un café bouilli contient plus d'alcools diterpéniques qu'un café expresso, qui lui en contient plus qu'un café filtre, ce dernier ayant une concentration proche de zéro. (HUYGHE.,2014).

Les acides phénols représentent environ 5% du grain de café vert : acide quinique, acide caféique, acide chlorogénique. Une tasse d'environ 200 millilitres de café fournit de 70 milligrammes à 350 milligrammes d'acides phénoliques alors que les fruits les plus riches en acides phénoliques de la même famille que ceux du café en contiennent de 10 à 230 milligrammes par portion de 100 à 200 grammes ; cela concerne la cerise, la prune, la pomme ou encore le kiwi. Des chercheurs avancent que ce serait ces acides caféique et chlorogénique

qui seraient en grande partie responsables de l'effet anti oxydant du café.⁸⁻⁹ La présence de caféine varie généralement selon les variétés entre 0,6 et 2% et on compte également des traces de théobromine *Idem*.

Il faut remarquer que l'espèce *Coffea robusta* contient plus de caféine que l'espèce *Coffea arabica*. En ce sens, certains *canephora* (variété robusta) ont une teneur en caféine supérieure à 3%.¹⁰ Les études recherchent également la présence de contaminants exogènes (pesticides, paraffine) mais également des contaminants endogènes (hydrocarbures cycliques aromatiques). Ces contaminants sont attentivement surveillés et leurs effets physiologiques étudiés.¹¹⁻¹² Ci-dessous un (**Tableau.I.1**) évaluant la composition moyenne d'un grain de café vert, les valeurs sont exprimées en pourcentage de masse sèche. Il faut noter qu'on compte 8 à 10% de matière non sèche *Idem*.

Chapitre I : Généralités sur le café

Tableau.I.3 : Composition chimique des graines du café vert Robusta et Arabica (MUSSATTO *et al.*, 2011).

Composant	Arabica	Robusta
Glucides solubles	9 – 12.5	6 – 11.5
Monosaccharides	0.2 – 0.5	
Oligosaccharides	6 – 9	
	3 – 7	
Polysaccharides	3 – 4	
Polysaccharides insolubles	46 – 53	34 – 44
Hémicellulose	46 – 53	3 – 4
Cellulose, β (1-4) mannanes et phénols	41 – 43	32 – 40
Acides volatils	0.1	
Acides aliphatiques non volatils	2–2.9	1.3–2.2
Acide chlorogénique	6.7–9.2	7.1–12.1
Lignine	1 – 3	
Lipides	15 – 18	8 – 12
Cire	0.2 – 0.3	
Huiles	7.7 – 17.7	
composés azotés	11 – 15	
Acides aminés libres	0.2–0.8	
Protéines	8.5–12	
Caféine	0.8–1.4	1.7–4.0
Trigonelline	0.6–1.2	0.3–0.9
Minéraux	3–5.4	

MS : matière séchée

I.11. Composés chimiques bioactifs

Plusieurs composés chimiques bioactifs figurent dans la composition chimique du café.

I.11.1. Acides chlorogéniques

Les acides chlorogéniques (ACG) constituent une famille d'esters formés entre les acides transcinnamiques (caféique et férulique) et l'acide quinique (ADLER.,2014). (Figure.I.11)

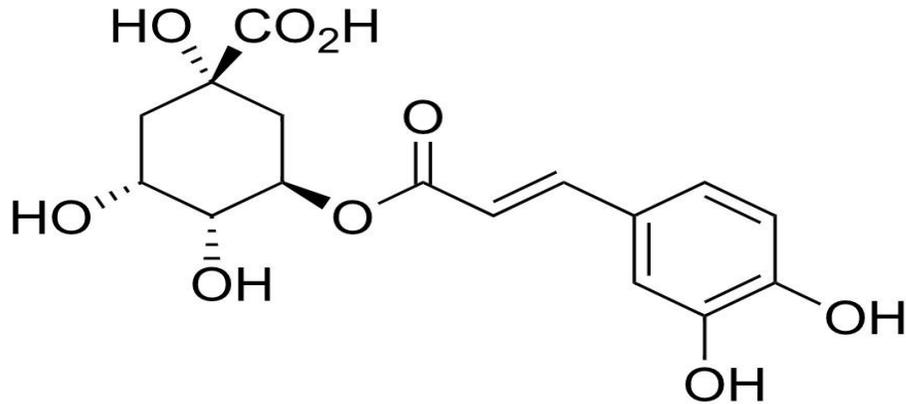


Figure I.7 : Structure chimique de l'acide chlorogénique (SANTOS *et al.*, 2021)

I.11.2: Caféine

La caféine a été découverte dans le café (*C. arabica*) dans les années 1820 (ADLER.,2014). C'est un alcaloïde purine (le 1,3,7-triméthylxanthine) dérivant de la xanthosine (Figure.I.12). La teneur en caféine du café est estimée entre 2,6 – 8.7 (mg/g) (KROL *et al.*,2020)

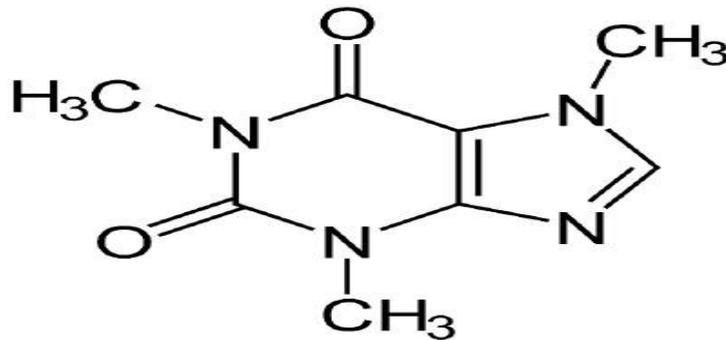


Figure. I. 8 : Molécule de la caféine (BONNIN, 2016)

I.11.3. Les glucides

Les grains de café verts contiennent des glucides qui représentent environ 50% de la matière sèche du café et que nous pouvons classer en deux catégories. Les glucides solubles

(polysaccharides et oligosaccharides) et les glucides insolubles (hémicellulose et Holo cellulose). La torréfaction influe fortement sur la concentration glucidique : elle entraîne la libération de monosaccharides –ribose, galactose, arabinose- à partir des polysaccharides, qui pourront ensuite participer à la réaction de Maillard (**BONNIN.,2016**).

I.11.4. Les lipides

Histologiquement les lipides sont localisés dans deux compartiments différents du grain de café : à l'intérieur de l'endosperme (huile de café) et sur la face externe où ils rentrent dans la composition de la cire⁶⁰. Cependant, les lipides contenus dans la cire sont minoritaires (0.2 à 0.3%), la majorité se trouvant dans l'huile de café : acides gras saturés (acide palmitique, stéarique) et insaturés (acide oléique et linoléique). Des stérols (sitostérol, stigmastérol, campésterol, cycloarténol) ainsi que des diterpènes (cafestol, kahweol) sont également présents. La quantité de diterpènes dans la boisson dépend de la façon selon laquelle cette dernière est préparée : étant « retenus » lors de la filtration, c'est dans le café non filtré « café Turc » ou obtenu selon la méthode du « French press coffee ». Que leurs concentrations seront les plus élevées. Enfin, il convient de noter que la torréfaction n'a que peu d'effet sur la teneur finale en lipides (**BONNIN.,2016**).

I.11.5. Les Protéines

Les protéines constituent de 8 à 13% de la matière sèche des grains de café verts⁶². Deux classes sont à distinguer : les protéines solubles (globulines) ou insolubles dans l'eau. Les acides aminés principaux sont l'acide glutamique, l'acide aspartique, la proline, l'alanine ou encore l'asparagine. Leurs concentrations diminuent de façon importante au cours de la torréfaction. Les proportions des différents acides aminés sont modifiées selon leur thermorésistance plus ou moins forte (**BONNIN.,2016**).

I.11.6. Les phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires servant généralement de défense aux plantes contre les agressions extérieures d'agents pathogènes. Ainsi, les acides phénoliques sont synthétisés en réponse à un stress de la plante, à partir de la phénylalanine et de la tyrosine par la voie de l'acide shikimique. De manière générale, ces composés font l'objet

d'une attention particulière quant à leurs effets bénéfiques sur la santé humaine qui seraient principalement liés à leur action antioxydante. », Les acides chlorogéniques, les tanins condensés, les lignanes et les anthocyanes font partie des composés phénoliques présents dans le grain de café. Les tanins sont principalement abondants dans la pulpe tandis que les acides chlorogéniques sont surtout présents dans le grain du café vert où leur concentration varie en fonction de l'espèce. La famille des acides chlorogéniques désigne par extension les esters qui sont formés entre l'acide quinique et un ou plusieurs acides hydroxycinnamiques (acides coumarique, férulique, caféique...). Ces molécules participent à l'élaboration de l'arôme et de la saveur du café durant la torréfaction. Cependant, une baisse importante de leur taux est observée au cours de celle-ci : les acides chlorogéniques sont en effet thermiquement instables et sont transformés en quinolactones ou dégradés en dérivés phénoliques et en composés de faible poids moléculaire. La teneur finale en acides chlorogéniques dans les grains torréfiés commercialisés est ainsi d'environ 1 à 5%, soit une perte globale de 20 à 50% par rapport au café vert (BONNIN.,2016). (Figure.I.9)

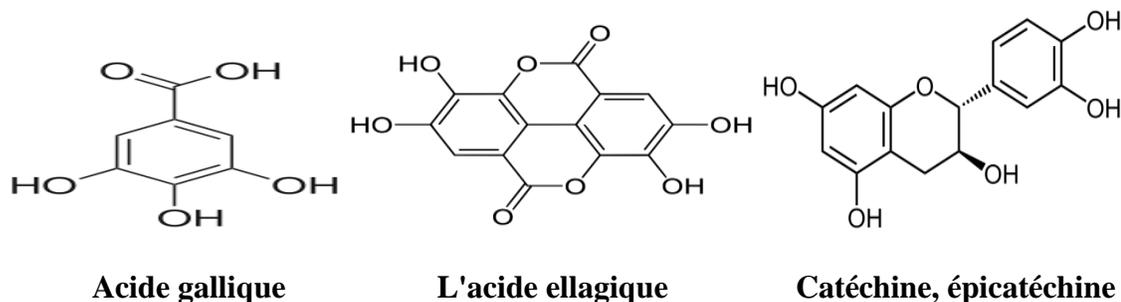


Figure. I.9 : Structure de quelques composés phénoliques (LOPEZ-BARRERA *et al.*,2016)

I.11.7. Les minéraux

Le café contient de nombreux minéraux dont le principal est le potassium (environ 55 à 65 mg pour une tasse de 100 ml). Viennent ensuite le magnésium, le calcium et le sodium ainsi que le fer, le zinc et le cuivre en plus faibles quantités (BONNIN.,2016).

I.11.8. Les Vitamines

Parmi les vitamines, c'est la vitamine B₃ qui est majoritairement retrouvée, à raison de 400 à 1200 µg par tasse de café 65. On estime qu'un bol de café de 250 ml permettrait de couvrir jusqu'à 15% des apports nutritionnels conseillés en vitamine B₃ qui sont de l'ordre de 16 mg par jour. En comparaison, la même tasse de café contiendra également les vitamines B₅ (environ 80 µg), B₂ (2 µg) et B₆ (0.6 µg). Les vitamines B₁ et C sont dégradées lors de la torréfaction (BONNIN.,2016).

I.11.9. La trigonelline

Ce composé azoté, présent à hauteur de 0,6 à 1.2% dans le café vert, se dégrade pour moitié en acide nicotinique lors de la torréfaction. Les composés aromatiques formés à partir de la trigonelline, lors de la torréfaction, sont des dérivés de la pyridine dont les notes aromatiques sont « vert », « grillé », « terreux », « amer », « brulée » (DURAND, 2012).

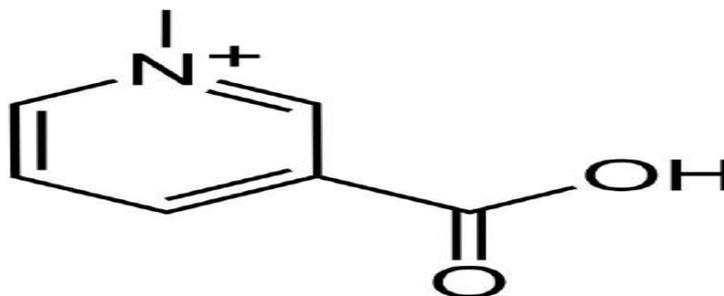


Figure I.10 : Molécule de la trigonelline (MEYER, 2021)

I.12.Méthode de traitement du café

La qualité du café est influencée par de nombreux facteurs, à savoir le type de café, la qualité de la récolte, le lieu de croissance du café, système agronomique, méthode de transformation du café, conditions de séchage et de stockage (MUZAIFA *et al.*,2021).

La qualité du café est le résultat d'interactions complexes entre la génétique végétale, l'environnement et la gestion de la plantation (MUZAIFA *et al.*,2021).

Les voies de traitement peuvent être classées comme « voie sèche » lorsque le produit est séché directement après le lavage et l'élimination des impuretés (Figure I.11) ; et en tant que

« voie semi-humide » et « voie humide » lorsque les fruits épluchés et/ou dépulvés sont séchés, respectivement, et à la fois dans les étapes d'élimination de la peau et de l'élimination de la pulpe, de l'eau est utilisée (CAMPOS *et al.*, 2021).

Les baies de café sont traitées soit par voie sèche, soit par voie humide, la première étant adoptée principalement (environ 95 %) pour *C. arabica* au Brésil, en Éthiopie, en Haïti, au Paraguay, en partie en Inde et en Équateur., presque totalement pour *G. robusta* partout. Indépendamment de l'espèce ou du cultivar, le traitement par voie humide est couramment utilisé au Costa Rica, en Colombie, au Guatemala, au Pérou, en Bolivie et en Équateur. Dans le processus à sec, les cerises de café sont séchées à environ 10-11% d'humidité. Le séchage peut être effectué par des méthodes naturelles ou artificielles. Ensuite, les grains de café sont séparés des couches de couverture (peau, pulpe et parchemin) dans une décortiqueuse. Les résidus solides générés par le décortiquage sont appelés cosses de café. Dans le procédé humide, le séchage n'est pas nécessaire. La peau et la pulpe sont enlevées mécaniquement, générant un résidu solide appelé pulpe de café. Ensuite, les fèves sont fermentées pour éliminer la couche de pulpe restante ou séchées directement à 12% d'humidité. Enfin les fèves sont décortiquées pour enlever le parchemin (CAMPOS *et al.*, 2021).

Au cours de la première étape du traitement à sec, les déchets solides générés sont les cosses et les pulpes de café et les grains de café de mauvaise qualité ou défectueux. La transformation secondaire conduit à la production de café torréfié et de café soluble. (CAMPOS *et al.*, 2021)

Le principal résidu solide généré au cours de cette étape est représenté par le marc de café épuisé provenant de la production de café soluble. En raison des quantités élevées générées au cours des deux étapes, ces résidus solides (c. le type de résidu. Les cosses de café, formées par la peau externe sèche, la pulpe et le parchemin, sont probablement le principal résidu de la transformation des baies de café : pour chaque tonne de grains de café produite, env. une tonne d'enveloppes est générée lors du traitement à sec, env. deux tonnes lors du traitement par voie humide, en fonction de la quantité d'eau ajoutée. Les grains défectueux représentent plus de 50 % des grains de café consommés, tandis que le MC est produit à raison de 1,5 tonne (25 % d'humidité) pour chaque tonne de café soluble. Ce résidu solide présente un problème d'élimination supplémentaire, car il peut être utilisé pour falsifier du café torréfié et moulu, étant pratiquement impossible à détecter. (CAMPOS *et al.*, 2021).

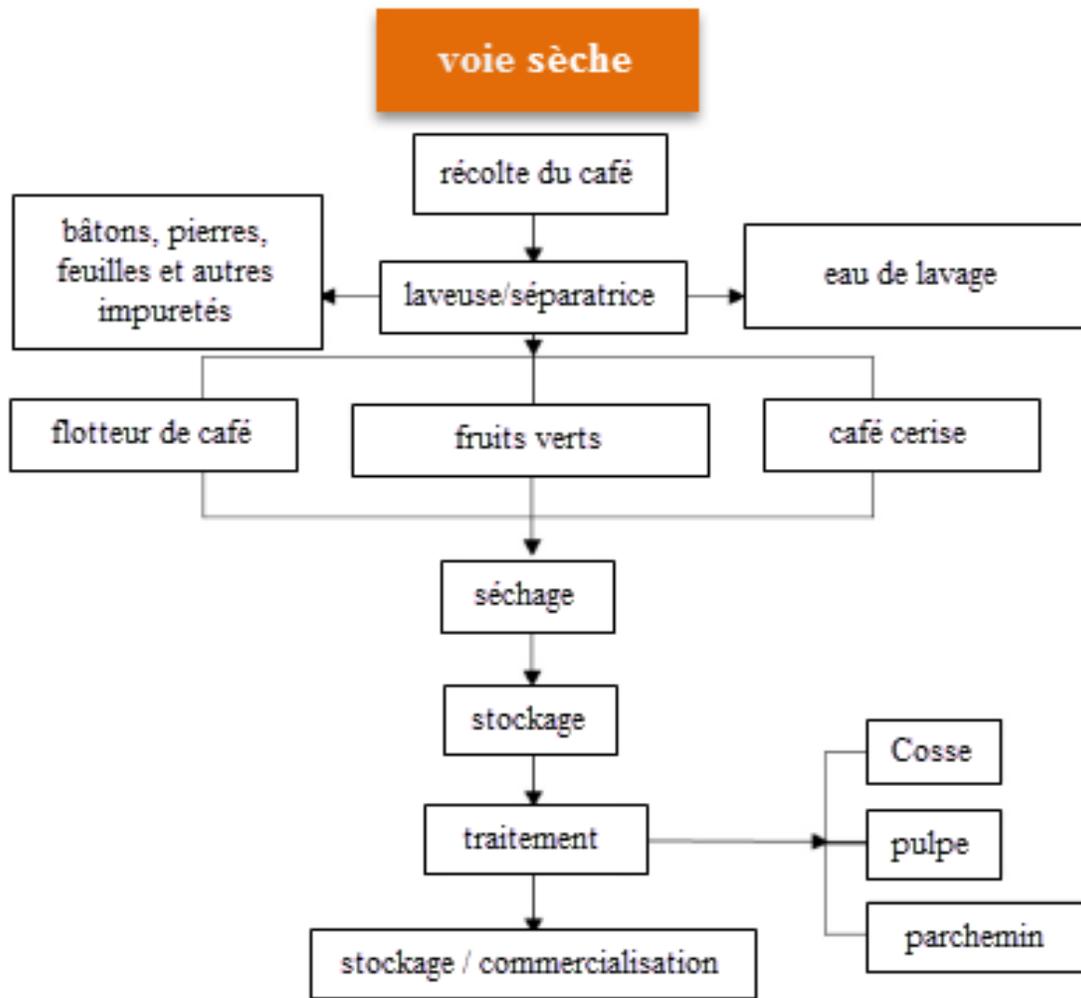


Figure I.11 : Étapes de traitement du processus à sec. (CAMPOS *et al.*, 2021).

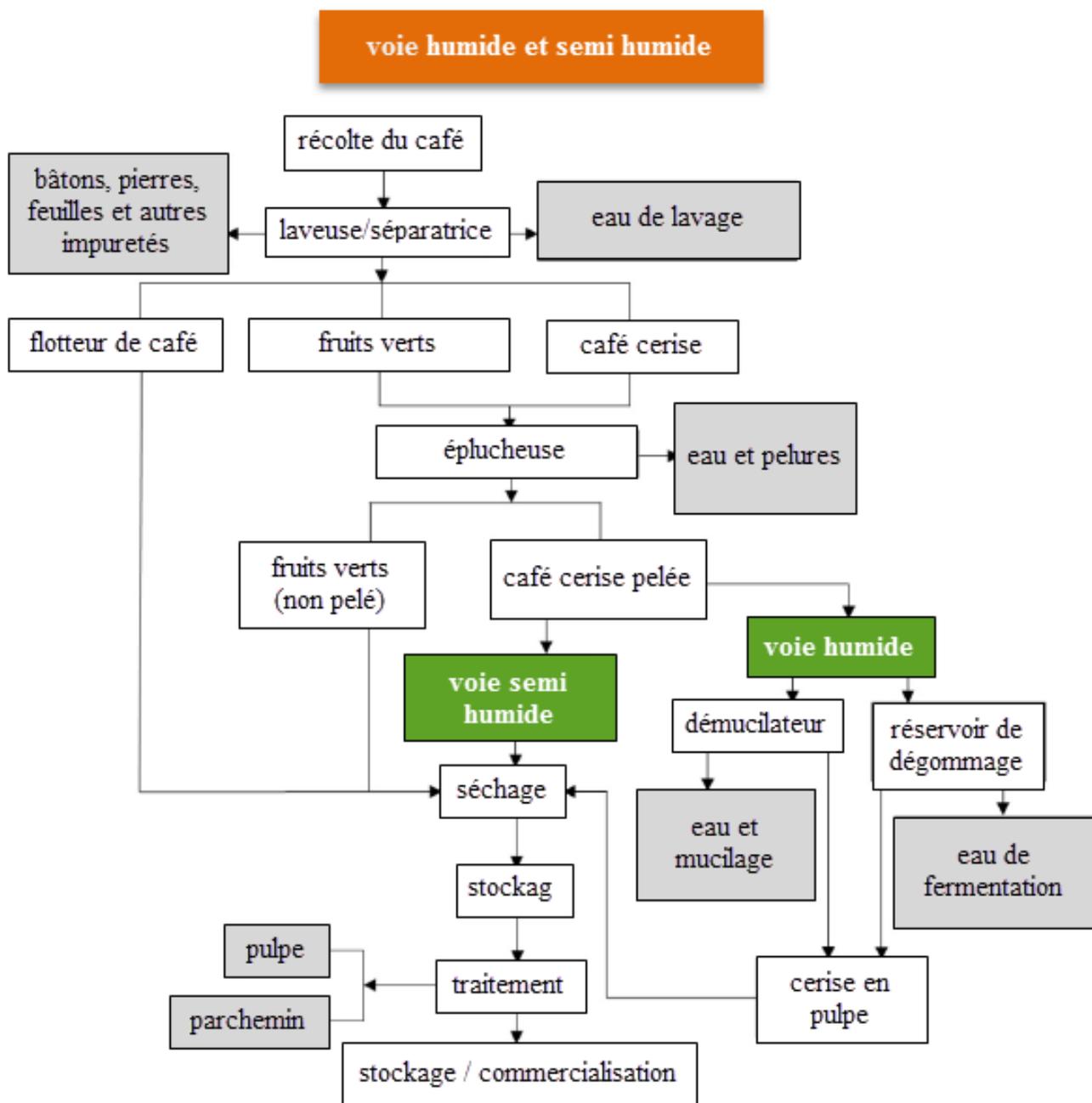


Figure I.12 : Étapes de traitement

« Voie humide » et « Voie semi-humide ». (CAMPOS *et al.*, 2021).

I.13. Déchets issus de la récolte et de la consommation du café

Le café est le deuxième plus grand produit commercialisé dans le monde et génère une grande quantité de sous-produits et de résidus pendant le traitement du fruit à la tasse. Le traitement industriel des cerises de café consiste à séparer la poudre de café en enlevant la coquille et la partie mucilagineuse des cerises. En fonction de la méthode de traitement des cerises de café, c'est-à-dire par voie humide ou sèche, on obtient des résidus solides de torréfaction et de brassage tels que la pulpe, la pellicule argentée et la pâte (Figure.I.11.12.13.14). Les cosses/écorces/pulpe de café, comprenant près de 45% de cerise, sont les principaux sous-produits de l'industrie du café. Ils sont utilisés à diverses fins, notamment l'extraction de la caféine et des polyphénols car ils sont riches en nutriments. (MURTHY et NAIDU., 2012.).

I.13.1. Pulpe de café

La pulpe de café est le premier sous-produit obtenu lors du traitement et représente 29% en poids sec de la baie entière. La pulpe de café est obtenue lors du traitement humide du café et pour 2 tonnes de café produites, 1 tonne de pulpe de café est obtenue. La pulpe de café est essentiellement riche en glucides, protéines et minéraux (notamment en potassium) et contient également des quantités appréciables de tanins, de polyphénols et de caféine. Les composants organiques présents dans la pulpe de café (poids sec) comprennent les tanins 1,80–8,56%, les substances pectiques totales 6,5%, les sucres réducteurs 12,4%, les sucres non réducteurs 2,0%, la caféine 1,3%, l'acide chlorogénique 2,6% et l'acide caféique total 1,6 % (MURTHY et NAIDU., 2012).



Figure. I.13 : Pulpe de café (MURTHY et NAIDU, 2012).

I.13.2. Cerise de café

Les cosses de cerises de café sont obtenues lorsque les baies de café sont traitées par méthode sèche. La cerise de café renferme les grains de café et représente environ 12% de la baie sur la base du poids sec. Environ 0,18 tonne de cerise est produite à partir d'une tonne de fruits de café. Les cosses de café composent 15,0% d'humidité, 5,4% de cendres, 7,0% de protéines, 0,3% de lipides et 72,3% de glucides. La cerise de café contient 24,5% de cellulose, 29,7% d'hémicelluloses, 23,7% de lignine et 6,2% de cendres. (MURTHY et NAIDU., 2012).



Figure.I.14 : Cerise de café (MUZAIFA *et al.*,2021)

I.13.3. Pellicule argentée

La peau d'argent de café est un tégument de grain de café obtenu comme sous-produit du processus de torréfaction. C'est un résidu à forte concentration de fibres alimentaires solubles (86% du total des fibres alimentaires) et ayant une capacité antioxydante élevée, probablement en raison de la concentration de composés phénoliques, ainsi que de la présence d'autres composés formés par la réaction de Maillard tels que mélanoidines pendant le processus de torréfaction. Les principaux composants de ces tissus fibreux sont la cellulose et l'hémicellulose. Le glucose, la xylose, le galactose, le mannose et l'arabinose sont les monosaccharides présents dans la peau du café argenté avec les protéines (MURTHY et NAIDU., 2012).



Figure. I.15 : Pellicule argentée (MURTHY et NAIDU, 2012).

I.13.3. Le Marc de café

Près de 50% du café mondial produit est transformé pour la préparation de café soluble. En moyenne, une tonne de café vert génère environ 650 kg de marc de café, et environ 2 kg de marc de café humide sont obtenus pour chaque kg de café soluble produit. Le marc de café est plus riche en sucres et contenant du mannose et du galactose ainsi qu'une fraction significative de protéines. La composition chimique varie d'une plante à l'autre et dans différentes parties de la même plante. Il varie également au sein des plantes de différents emplacements géographiques, âges, climat et conditions du sol. La connaissance des propriétés physiques et chimiques mènera à une meilleure compréhension de l'application du café. (MURTHY et NAIDU., 2012).



Figure.I.16 : Marc de café (MUZAIFA *et al.*, 2021)

I.14. Avantages et inconvénients du consommation du café

Le café est la deuxième boisson la plus courante au monde après le thé, et tout effet du café est un problème important de santé nutritionnelle. Le café contient environ deux mille produits chimiques en plus de la caféine, le composant le plus connu de la boisson. Ceux-ci comprennent de nombreux composés bioactifs ayant des effets potentiels sur la santé. La quantité de caféine et d'autres composants du café dans la boisson finale est variable et dépend du type de poudre de café, de la méthode d'infusion, de la préparation de la boisson et de la taille de la tasse (CAVALLI et TAVANI, 2016).

Cette variation complique notre compréhension des effets du café sur la santé. La consommation de café était souvent associée à des effets défavorables sur la santé, mais certains d'entre eux n'ont pas été confirmés par des preuves épidémiologiques plus récentes. *Idem*

La liste des substances chimiques contenues dans le café est loin d'être définie et certaines substances sont contenues dans certaines variétés de graines et pas dans d'autres. Cependant, il existe certaines caractéristiques chimiques de base communes à tous les types de café après torréfaction *Idem*.

La caféine (1, 3,7-triméthylxanthine) est un alcaloïde présent dans quelques boissons et aliments en dehors du café. Il agit comme un antagoniste compétitif des récepteurs de l'adénosine A1 et A2A et a une grande variété d'effets physiologiques (Tableau I.02) *Idem*.

**Tableau I.4 : Principaux effets physiologiques de la caféine
(CAVALLI et TAVANI, 2016)**

Système corporel	Action pharmacologique de la caféine
Système nerveux central	<ul style="list-style-type: none">✓ Réduction de la fatigue, temps de réaction✓ Augmentation de la vigilance, de l'énergie, de l'humeur, de l'anxiété, de l'insomnie
Système respiratoire	<ul style="list-style-type: none">✓ Stimulation du centre respiratoire✓ Bronchodilatation
Système cardiovasculaire	<ul style="list-style-type: none">✓ Légère augmentation à court terme de la pression artérielle✓ Augmentation de la fréquence
Système urinaire	<ul style="list-style-type: none">✓ Diurèse légère
Tube digestif	<ul style="list-style-type: none">✓ Dans l'estomac : augmentation de la sécrétion de HCl et de pepsine.✓ Augmentation de la motilité gastro-intestinale✓ Augmentation de la sécrétion d'acides biliaires
Tissu adipeux	<ul style="list-style-type: none">✓ Stimulation de la lipolyse

Le tableau suivant résume quelques impacts bénéfiques ou non de la consommation du café (CAVALLI et TAVANI, 2016).

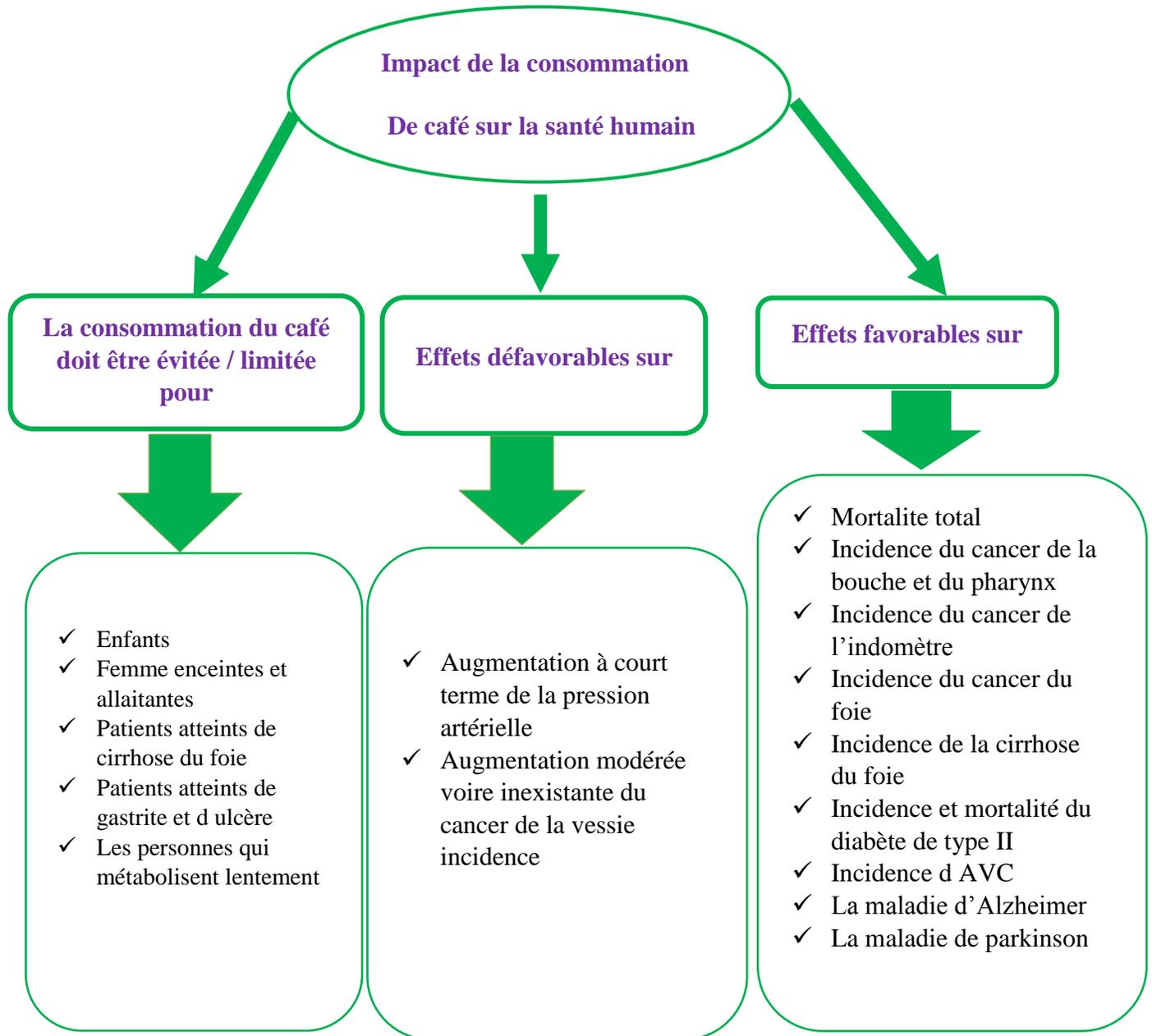


Figure I.17 : Impact de la consommation de café sur la santé humaine (CAVALLI et TAVANI, 2016)

I.15. Conclusion

A travers ce chapitre nous avons exposé en premier lieu une synthèse bibliographique non exhaustive de la botanique et de l'écologie du caféier, et en deuxième lieu nous avons dressé un inventaire tiré des études effectuées sur la composition biochimique du café et celle des déchets engendrés par sa production, sa transformation et sa consommation, ainsi que les avantages et les inconvénients liés à sa consommation.

Les caféiers sont des arbres ou des arbustes endémiques des régions intertropicales, appartenant à la famille des Rubiacées et originaires des régions tropicales d'Afrique et d'Asie.

Parmi les espèces de ce fruit, seulement deux espèces sont cultivées de manière significative, Coffea arabica L. et Coffea canephora.

La production et la consommation de ce produit ne cessent d'augmenter à travers le monde ; et d'après les statistiques récentes, la plus grande production mondiale de café, de l'ordre de 60% est couverte par le café Arabica (*Coffea arabica*).

Le café contient environ 2000 produits chimiques en plus de la caféine, ces composés bioactifs ont des effets potentiels sur la santé ; la consommation du café a des effets favorables et déformables ; et il est conseillé de le consommer modérément.

La production, ainsi que la transformation et la consommation de boisson engendrent des résidus et des déchets qu'il faut impérativement traiter et valoriser.

La récolte, la transformation, ainsi que la consommation du café génèrent des sous produits et des déchets qu'il faut obligatoirement traiter et valoriser, car ils ont des conséquences néfastes sur l'environnement ; La cerise de café, la pulpe de café, la pellicule argentée et le marc de café figurent parmi les déchets les plus importants.

D'après la composition chimique du marc de café, nous pouvons constater qu'il recèle des molécules à très fort potentiel comme les polyphénols, tanins, caféine pectine..., ces biomolécules après extraction peuvent trouver des applications dans divers secteurs et tout particulièrement dans le domaine agroalimentaire.

Références bibliographiques

A

1.ADLER S., 2014 - *Impacts histo-morphologiques et biochimiques de la mutation laurina sur les graines et les plantes de Coffea arabica L.* Thèse de Doctorat, Univ. De la Réunion, la Réunion, 165 p.

B

2.BATTISTA F, BARAMPOUTI E.M, MAI S, BOLZONELLA D, MALAMIS D, MOUSTAKAS K , ET MARIA LOIZIDOU, 2020 - Added-value molecules recovery and biofuels production from spent coffee grounds. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 131 : 110007.

3.BONNIN A.L., 2016 - *autour du café.* Thèse de doctorat, UNIV. D'Angers, France, 211p.

4.BOUHARMONT J.,1963 -Somatic chromosomes of some *Coffea species.* *Euphytica*, 12, 254–257.

C

5.CAVALLI L, ET TAVANI A., 2016 - *Coffee Consumption and Its Impact on Health.*pp. 29-44 **cité par** Wilson T., Temple N.J. - *Beverage Impacts on Health and Nutrition.*Ed. Springer International Publishing., Switzerland, 2016, 406 p.

6. CAMPOS R.C, PINTO V.R.A, MELO L.F, ROCHA S.J.S. ET COIMBRA J.S, 2021 - New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review. *Future Foods.*, 4:100058.

E

7.ESQUIVEL P, ET JIMENEZ V. M, 2012 -Functional properties of coffee and coffee byproducts. *Food Research International*, 46(2), 488–495.

F

8.FERREIRA T, SHULER J, GUIMARÃES R, ET FARAH A, 2019- Coffee : Production, quality and chemistry. In A. Farah (Ed.), *Coffee : Production, quality and chemistry* (pp. 3–22). Royal Society of Chemistry.

H

9.HUYGHE, A., 2014 - *Bienfaits et limites de la consommation de caféine*. Thèse de Doctorat, Univ. Lille, France, 178p.

I

10.IJANU M. A, KAMARUDDIN F. A., 2020 - Coffee processing wastewater treatment: a critical review *on current treatment technologies with a proposed alternative E. M. Norashiddin* s13201-019-1091-9.pdf *Applied Water Science* (2020) 10:11 pages1-11

K

11.KOVALCIK A, OBRUCA S, MAROVA I., 2018 -A review Valorization of spent coffee grounds: *Food and Bioproducts Processing*, 110 :104–119.

12.KROL K, GANTNER M, TATARAK A, HALLMANN E.,2020 -The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *Eur Food Res Technol* 246(1):33–39.

Chapitre I : Généralités sur le café

L

13. LASHERMES P, COMBES M, ROBERT J, TROUSLOT P, D'HONT A, ANTHONY F, ET CHARRIER, A., 1999- Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Molecular and General Genetics: MGG*, 261(2), 259–66.

M

14. MEYER C.- *Dictionnaire des Sciences Animales* [en ligne]. Créé en 2021 [<http://dico-sciences-animales.cirad.fr>], (consulté le 04 octobre 2021).

15. MURTHY P. S, ET NAIDU M., 2012- Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling.*, 66 : 45-5.

16. MUSSATTO S.I, MACHADO E.M.S, MARTINS S, ET TEIXEIRA J.A., 2011 - Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food Bioproc. Tech.*, 4 : 661–672.

17. MUZAIFA M, RAHMI F ET, SYARIFUDIN., 2021- Utilization of Coffee By-Products as Profitable Foods – Review. *The 3rd International Conference On Food and Agriculture IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 672 (2021) 012077

N

18. NOËL DURAND., 2012 - *Dynamique des populations microbiennes au cours du traitement post récolte du café et relations interspécifiques entre souches ochratoxinogènes.* Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier, France, 240p.

O

19. ORGANISATION INTERNATIONALE DU CAFÉ. Page consultée le **04 décembre 2022**



20. PATIL S ,VEDASHREE M , PUSHPA S, MURTHY.,2021- Valorization of coffee leaves as a potential agri- food resource : bio- active compounds, applications and future prospective, *Planta* (2022) 255 :67.



21.SANTOS E.M, DE MACEDO L.M, TUNDISI L.L, ATAIDE J.A, CAMARGO G.A, ALVES R.C, OLIVEIRA M.B.P.P, ET MAZZOLA P.G., 2021 - Coffee by-products in topical formulations : A review. *Trends in Food Science et Technology.*, 111 : 280–291.

22.SCHWANKNER J., 2019 - *analyse de la durabilité du café : production et consommation en Amérique.* Essai pour l'obtention du grade de maîtrise en environnement. Univ. De sherbrooke, Canada, 84p



23.VESTALYS, I.R., 2018 - *Recherche de marqueurs biochimiques et génétiques de l'adaptation des caféiers cultivés aux variations climatiques.* Thèse de Doctorat, Univ. D'Antananarivo, Madagascar ,200p.



Chapitre II : *Aperçu sur le Marc de Café*

II.1 Introduction

Le marc de café (MC) est la matière résiduelle obtenue lors du traitement de la poudre de café avec de l'eau chaude ou de la vapeur pour la préparation du café instantané. Près de 50 % de la production mondiale de café est transformée pour la préparation de café soluble, qui génère environ 6 millions de tonnes de MC par an (MUSSATTO *et al.*, 2011; BALLESTEROS *et al.*, 2010).

Le déchet du marc de café suscite particulièrement un intérêt croissant pour les raisons suivantes :

- Ils contiennent un grand nombre de composés organiques (plus de 1000 composants individuels) qui peuvent être classés en glucides, protéines, lipides, minéraux, composés azotés non protéiques et phénoliques :
- Leur granulométrie permet une élimination rapide des substances respectives de la matrice par un solvant approprié ;
- Ce sont des déchets disponibles en quantité énorme (6 millions de tonnes par an) et à bas prix. (PESHEVA *et al.*, 2018).

L'objectif de ce deuxième chapitre est de dresser un inventaire bibliographique loin d'être exhaustif des propriétés et des caractéristiques et de la composition du marc de café, déchet issu de la consommation du café ; ainsi que les méthodes d'extraction utilisées pour extraire ses molécules bioactives.

Ce chapitre est scindé de trois parties :

- La première partie traite de la composition chimique et les propriétés physicochimiques du marc de café révélées par des études expérimentales.
- La deuxième partie est consacrée aux molécules bioactives qui peuvent être extraites de ce déchet.
- La troisième partie est consacrée aux techniques d'extraction employées pour purifier les composés bioactifs que contient le marc de café.

II.1.2. Définition et Généralités

Le marc de café est le résidu insoluble après la déshydratation, la mouture et l'infusion des grains de café. Il existe deux sources : Celles générées par l'industrie du café soluble représentent environ 50% de la récolte mondiale de café chaque année, et celles générées par les cafés et le public, représentant les 50% restants (CRUZ *et al.*, 2015).

Près de 50 % de la production mondiale de café est transformée pour la préparation de café soluble, qui génère environ 6 millions de tonnes de MC par an (MUSSATTO *et al.*, 2011 ; BALLESTEROS *et al.*, 2010). En moyenne une tonne de café vert génère environ 650 kg de MC, et environ 2 kg de MC humide sont obtenus pour chaque kg de café soluble produit. (MURTHY et NAIDU, 2012).

II.3. Propriétés du marc de café

II.3.1-Propriétés physiques du marc de café

Le marc de café possède un haut taux d'humidité variant entre 55 et 80 %. (GOMEZ-DE LA CRUZ *et al.*, 2015) Plus l'humidité est grande plus la croissance microbienne est favorisée, donc des stratégies de conservations optimales sont nécessaire afin de récupérer une matière de qualité. Ces stratégies peuvent représenter des coûts économiques supplémentaires pour le transport. (CRUZ *et al.*, 2009)

En ce qui concerne la morphologie des grains de marc de café, la **Figure II. 1** illustre un grain de marc de café issu des commerces et prise par microscopie électronique à balayage.

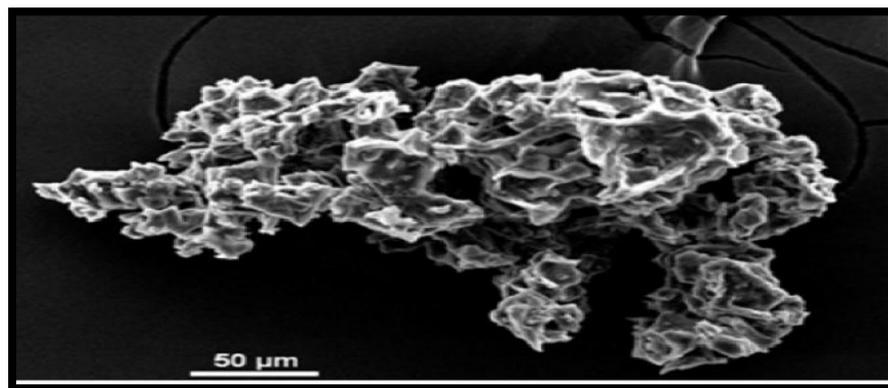


Figure II.1 . Grain de marc de café commercial par microscopie électronique à balayage (CHEN *et al.*, .2013).

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

Le diamètre des grains de marc de café séchés varie entre 50 et 100 μm pour le marc de café commercial. Cependant, ce diamètre augmente avec le taux d'humidité. En effet, lorsque le marc de café devient de plus en plus humide, l'adhésion entre les grains augmente et ces derniers forment des agglomérats de plus grande taille. L'angle de talus quant à lui reste le même, peu importe le taux d'humidité du marc de café. L'angle de talus est une donnée utile pour déterminer les superficies nécessaires des aires d'entreposage du marc de café après l'avoir récupéré. La densité apparente du marc de café est environ de $0,42 \text{ g/cm}^3$ et la densité réelle est d'environ $1,16 \text{ g/cm}^3$. En ce qui concerne leur porosité, les grains de marc de café ne possèdent pas de micropores. En général, la porosité est de 0,63, peu importe le taux d'humidité et la taille des pores, est d'environ $10 \mu\text{m}$. (CHEN *et al.*, 2013) Toutefois, cette porosité peut être augmentée si nécessaire en diminuant la cristallinité du marc de café en dégradant sa matrice cellulose-lignine. (BALLESTEROS *et al.*, 2010) Enfin, la surface des grains est de charge négative (SHEN et GONDAL, 2013). Le Tableau.II.1 présente ces différentes données en fonction du taux d'humidité.

Tableau. II.1. Caractéristiques physiques du marc de café en fonction de l'humidité (SILVA *et al.*, 2012)

Humidité (%)	Angle de talus ($^{\circ}$)	Densité apparente (g/cm^3)	Densité réelle (g/cm^3)	Diamètre (μm)	Porosité
0.00	N. D	N. D	1.20	50-100	N. D
15.2	38.7	0.43	1.16	583	0.63
17.7	37.8	0.43	1.16	617	0.63
43.1	37.7	0.41	1.11	880	0.63

N.D : non définie

Dans la majorité des études sur le marc de café, son pouvoir calorifique est évalué en moyenne à 5000 kcal/kg de matière sèche. Cependant, des études affirment que ce pouvoir est de 5700 kcal/kg . (ZUORRO et LAVECCHIA, 2012) Le pouvoir calorifique du marc de café est similaire à celui du charbon et est supérieur aux autres biomasses. Cependant, celui-ci diminue lorsque le taux d'humidité du marc de café augmente. Aussi, la température de combustion spontanée du marc de café est de $460 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Les données présentées ici dépendent de la concentration en oxygène et du taux d'humidité du marc de café. Ainsi, lors de l'entreposage du

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

marc de café, ces données doivent seulement être considérées comme des indicateurs, d'autant plus que le stockage de matière humide peut amener à la formation de méthane. (SILVA *et al.*, 2012).

II.3.2. Propriétés chimiques du marc de café

La composition du marc de café dépend du type de grains de café, des conditions de torréfaction et du procédé d'extraction. La composition des MC comprend (1) une fraction d'huile (7,9 à 26,4 %), (2) des fibres brutes (19,7 à 22,1 %), et (3) différents composants tels que des alcaloïdes, des protéines, etc. entrent dans la composition du café (CORREA *et al.*, 2014 ; ACEVEDO *et al.*, 2013) (Figure. II.2).

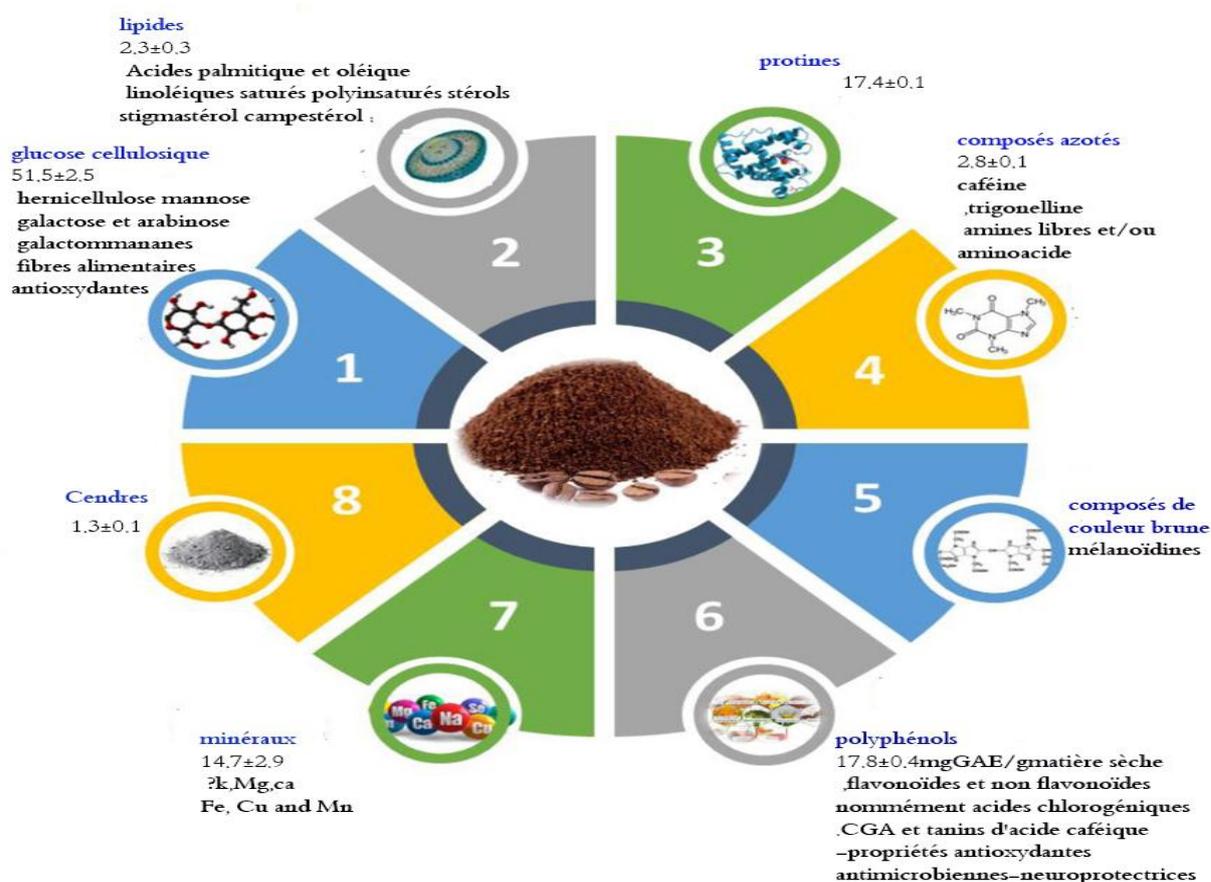


Figure. II.2 . Composition principale du marc de café (composition exprimée en g/100 g de matière sèche). (Andrade, *et al.* 2022)

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

II.3.2. 1. Composition élémentaire du marc de café

Le carbone est l'élément majoritaire du marc de café. Le **Tableau. II.2** présente la composition élémentaire du marc de café.

**Tableau. II.2 .Etudes récentes sur les compositions élémentaires
Du marc de café (JOHNSON *et al.*, 2022)**

Analyse Elémentaire (%)						HHV (MJ/kg)	References
N	C	H	S	O	Cendres	-	-
1,93 ± 0,07	46,23 ± 1,13	7,32 ± 0,17	0,26 ± 0,11	41,86 ± 1,21	2,42 ± 0,06	22,49	(LIU,2015)
1,23 ± 0,03	57,69 ± 2,04	7,63 ± 0,82	0,12 ± 0,02	31,91 ± 2,88	1,69 ±0,53	NA	(ABOMOHRRA <i>et al.</i> ,2021)
2,44 ± 0,10	49,99 ± 1,53	7,89 ± 0,13	0,33 ± 0,08	39,35 ± 1,47	2,87 ± 1,88	20,89	(LEE <i>et al.</i> , 2021)
1,40 ± 1,20	68,52 ± 10,20	11,04 ± 3,05	Trace	NA	0,90 ± 0,12	22,24 ± 0,05	(COLANTONI <i>et al.</i> ,2021)
2,74	56,79	7,7	0,25	35,52	2,06	21,75	(CHEN <i>et al.</i> ,2021)
2,51	46,41	6,59	0,29	42,57	1,62	NA	(TALEB <i>et al.</i> ,2020)
2,63	49,23	6,53	0,03	NA	NA	NA	(KAYA,2020)
2–4	45–58	6–7	NA	32–47	1,3–2,2	NA	(BATTISTA <i>et al.</i> ,2021)
1,9–2,3	47,8– 69,5	NA	NA	NA	0,43–2,2	19,0– 26,9	(MATA <i>et al.</i> 2018)

NA : non disponible, HHV : pouvoir calorifique supérieur

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

II.3.2.2. Principaux composés du marc de café

La composition du marc de café est essentiellement faite de polysaccharides, de lipides, de protéines, de polyphénols et de minéraux (ZAMORA *et al.*, 2015). Le Tableau II.3 présente la proportion des principaux composés retrouvés dans le marc de café

Tableau. II. 3. Principaux composés du marc de café (CAROUSS.,2015).

Composés	Quantité
Glucides	45.3%
Lipides	9.3-16.2%
Protéine	14%
Minéraux	6800 mg/kg de matière sèche
Poly phénols	13-18 mg acide gallique éq

Les glucides sont les éléments les plus abondants dans le marc de café. En effet, le marc de café est riche en cellulose et en hémicellulose. Plus précisément, le marc de café contient 46,8 % de mannose, 30,4 % de galactose, 19 variétés des grains de café utilisés.

Dans le marc de café expresso, le galactomannane est le plus abondant et représente 50 % des glucides. (BALLESTEROS *et al.*,2014) % de glucose et 3,8 % d'arabinose. Ces données varient d'une étude à l'autre, cela pouvant être dû à la variété des grains de café utilisés. (BALLESTEROS *et al.*, 2010) et (KONDAMUDI *et al.*, 2008).

En ce qui concerne les lipides, les données varient principalement entre 9,3 % et 16,2 %, parfois aux alentours de 20 %. De plus, cet ordre de grandeur ne varie pas significativement entre l'arabica et le robusta. La part de lipides dans les grains café, quant à eux, varie entre 11 % et 20 %. Plus précisément, celle du café arabica varie entre 14 % et 20 % et celle du café robusta entre 11 % et 16 %. Les lipides n'étant pas extraits de manière efficiente dans un milieu aqueux, il est normal de retrouver la quasi-totalité de ceux-ci après que le café eut été filtré. Une part de lipide relativement similaire dans les différents types de marc de café facilite la récupération du café et sa réutilisation. En effet, la matière récupérée peut ainsi être un mélange des différents

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

Marc de café. Aussi, les lipides du marc de café sont composés de 84,4 % de triglycérides. Ceux-ci sont représentés par l'acide linoléique (C18 :2), l'acide palmitique (C18:2) et (C16:0), l'acide oléique (C18:1) et l'acide stéarique. (Melo et autres, 2014) Les lipides du marc de café contiennent aussi des stérols, dont le sitostérol (10-14 % du marc de café), le stigmastérol (4-5 %) et le campe stérol (3-4 %) (VEGA *et al*, 2015).

Le marc de café contient entre 6,7 et 14 % de protéines selon les études et est de même ordre chez l'arabica ou le robusta. Cependant, il se peut que ces estimations soient surévaluées à cause de la présence d'autres composés contenant de l'azote tel que la caféine ainsi que plusieurs acides aminés. En effet, 17 aminés sont présents dans le marc de café, dont les neuf acides aminés essentiels. Ces derniers représentent presque 50 % des acides aminés présents. De plus, la concentration des acides aminés essentiels du marc de café industriel est deux fois plus grande que dans le tourteau de soya, celle-ci pouvant être jusqu'à 3,7% dans le marc de café. Aussi, le marc de café possède une forte concentration en acides aminés à chaîne latérale ramifiée (BCAA). (VEGA *et al*, 2015).

Les MC sont riches en polysaccharides, principalement en cellulose et en hémicellulose. La fraction polysaccharidique comprend des fibres au détergent neutre (45,2 %) et des fibres au détergent acide (29,8 %) . La teneur totale en fibres alimentaires (TDF) des MC varie de 45 à 51 g/100 g, dont 35 à 48 g/100 g sont des fibres insolubles et 2 à 8 g/100 g sont des fibres solubles . Les teneurs en TDF du MC se situent dans la même gamme que les poudres riches en fibres de pelures de fruits telles que l'orange (~ 49–51 g/100 g), la figue de barbarie (~ 41 g/100 g) et le feijoa (~ 46–48 g/ 100 g) mais plus élevé que certaines sources de fibres couramment utilisées telles que le son de riz et de blé (~27–45 g/100 g) et certaines poudres d'écorces de fruits, y compris le pequi (40–43 g/100 g) et mangue (40–41 g/100 g). Le marc de café épuisé a une teneur en TDF inférieure à celle d'autres résidus de traitement du café, y compris la peau d'argent du café (~ 62 g/100 g) et les coques et pulpes de café (~ 66 g/100 g) , ainsi que les pelures de buriti. (~89 g/100 g) (FRANCA et OLIVEIRA., 2022).

II.3.2.3. Composition des principaux minéraux du marc de café

Les minéraux sont aussi présents dans le marc de café. Ceux-ci sont en plus grande quantité dans le marc de café à espresso, que dans le marc de café filtre. Le **Tableau. II.4** présente les principaux minéraux du marc de café.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

Tableau. II.4 . Composition des principaux minéraux du marc de café (MUSSATTO *et al*,2011)

Minéraux	Quantité (mg/kg)
Potassium	8824 ± 4662
Phosphore	1534 ± 503
Magnésium	2201 ± 1341
Calcium	349 ± 122
Fer	46 ± 21
Manganèse	27 ± 10
Cuivre	25 ± 12

Le marc de café contient également d'autres éléments d'intérêts tels que des antioxydants. Tout d'abord, plusieurs tanins sont présents dans le marc de café. Parmi eux, la catéchine, la gallocatéchine, la gallocatéchine galate et l'acide chébulique. La catéchine est un antioxydant puissant qui possède une action complémentaire à la vitamine C. (LOW *et al*, 2015) Les tanins ne sont pas les seuls antioxydants présents dans le marc de café. En effet, d'autres polyphénols sont présents ainsi que de la caféine. La quantité de polyphénols varie entre 13 et 18 mg d'acide gallique équivalent par gramme de marc de café (BRAVO *et al*, 2013).

Parmi ces polyphénols, les principaux sont les flavonoïdes, l'acide protocatéchuïque et l'acide chlorogénique. Ce sont les acides chlorogéniques qui sont retrouvés en plus grande abondance, celui-ci étant plus important dans le marc de café arabica que dans le marc de café robusta ; le marc de café arabica issu de filtres de cafetière a une plus grande concentration en acide chlorogénique que le marc de café issu des machines à espresso et des cafetières à piston. En ce qui concerne la caféine, sa quantité dans le marc de café commercial peut beaucoup varier. Cette variation peut être due aux origines des plants de café utilisés et également aux techniques d'extraction employées. Toutefois, lors du processus de préparation de café espresso, 75 à 85 % de la caféine est extraite, ainsi le marc de café qui en résulte contient 15 à 25 % de la caféine initiale. Au-delà de ces variations, il semble que le marc de café robusta (753 mg/100g) contienne plus de caféine que celui de l'arabica (520 mg/100g) *Idem*.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFÉ

II.4. Propriétés bioactives du marc de café

Le marc de café possède des propriétés bioactives qui sont à considérer comme le montre le (Tableau II.5), le marc de café possède une activité anti-radicalaire semblable selon l'espèce de café.

Tableau. II.5 .Activité radicalaire du marc de café (BRAVO *et al.*, 2012)

Concentration	200 ppm	100 ppm	50 ppm
Marc de café arabica	89,2 ± 4,5	87,9 ± 4,1	86,9 ± 5,0
Marc de café robusta	84,3 ± 5,9	83,8 ± 5,1	82,0 ± 5,0

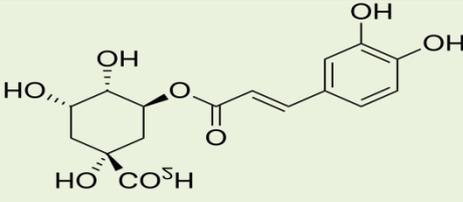
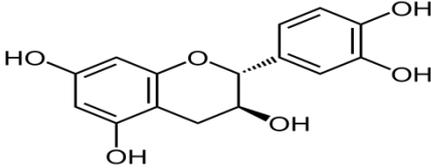
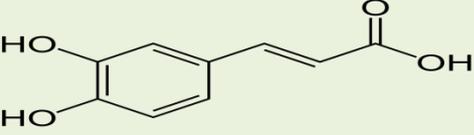
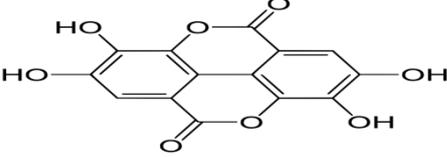
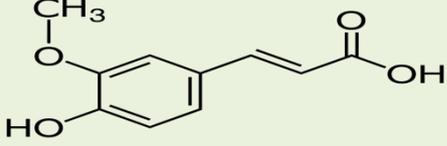
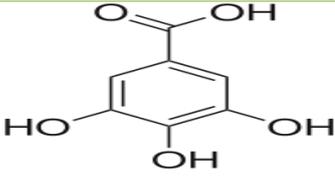
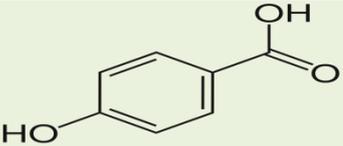
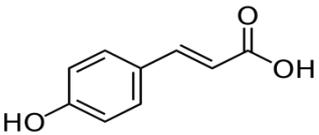
Le marc de café arabica possède une activité anti-radicalaire légèrement supérieure à celle du marc de café robusta. Cependant, le marc de café robusta montre une meilleure capacité d'absorption de l'oxygène radicalaire que le marc de café arabica. Aussi, le marc de café des deux espèces possède une activité antitumorale assez similaire. Cette activité est sans doute liée à la présence de pigments bruns (mélanoïdes et polyphénols) formés lors de la torréfaction des grains de café. De plus, il a été montré que le marc de café possède également des propriétés anti-allergènes et dans une moindre mesure des propriétés anti-inflammatoires. (RAMALAKSHMI *et al.*, 2009)

Il a été montré que le marc de café utilisé dans des capsules individuelles garde une stabilité microbienne pendant 15 jours dans un contenant de polyéthylène téréphtalate entreposé dans une pièce à air ambiant (22 °C ± 3 °C). De plus, les capacités bioactives du marc de café ne sont pas diminuées pendant cette même période. (BELVISO *et al.*, 2014) Ainsi, la pertinence d'utiliser des contenants de récupération en polyéthylène téréphtalate dans les aires de génération des établissements est à considérer.

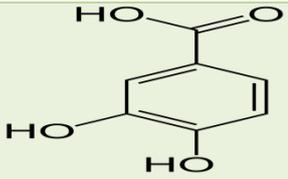
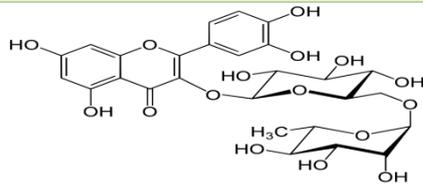
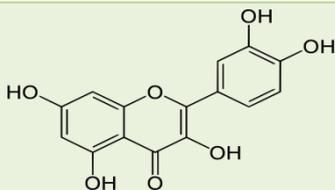
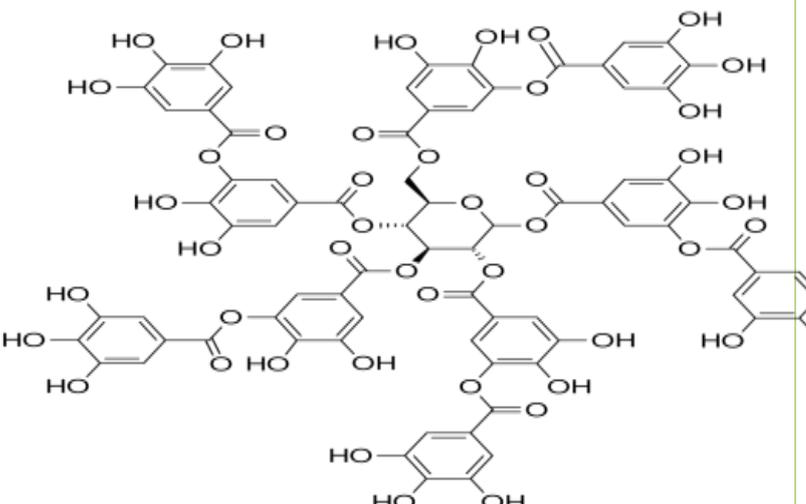
En conclusion, la composition chimique du marc de café est très variée, des glucides aux lipides, en passant par les protéines, et sans oublier les minéraux et les antioxydants. Cette variété de matériaux présents dans le marc de café, laisse entrevoir de nombreuses possibilités de valorisation et d'utilisation.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Tableau. II.6 . Composés poly phénoliques identifiés dans les MC
(LOPEZ-BARRERA *et al.*, 2016)

Composé	Structure Chimique
L'acide chlorogénique	
Catéchine, épicatechine	
Acide caféique	
L'acide ellagique	
Acide férulique	
Acide gallique	
Acide p-hydroxybenzoïque	
Acide p-coumarique	

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Acide protocatéchuique	
Rutine	
Quercétine	
Acide tannique	

II.5. Marc de café comme source de composés bioactifs

La bioactivité des fruits et légumes est définie comme la capacité à contrer les effets néfastes du stress oxydatif sur la santé humaine, causé par plusieurs maladies humaines, telles que le diabète, le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'ostéoporose, etc. Les composés bioactifs sont des métabolites secondaires de la plante et peuvent être classés en éléments nutritifs essentiels et non essentiels. Les composés phénoliques, les fibres alimentaires et les acides gras ne sont pas essentiels, tandis que les vitamines et les minéraux sont des nutriments essentiels (PATRA *et al.*, 2022).

Les MC sont riches en polysaccharides, des polymères qui peuvent être utilisés comme fibres alimentaires, et présentent une activité immunostimulante (OLIVEIRA et FRANCA, 2016). Par conséquent, un peu d'études récentes sur l'extraction de sucres polymériques à partir de MC sont disponibles dans la littérature. (BHATURIWALA RIZWAN et MODI

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

HASMUKH, 2020) a proposé une série de traitements séquentiels pour l'extraction des deux oligosaccharides et composés phénoliques de MC. Les traitements consistaient en une torréfaction à 150 C pendant 30 min, suivi d'un chauffage avec de l'eau à 90 C puis d'une hydrolyse du prétraité matériaux (à la fois les résidus solides et liquides) avec -mannanase. L'hydrolyse enzymatique a été réalisée à 45 C pendant 20 h, les solutions étant ensuite chauffées pendant 10 min à 90 C pendant désactivation enzymatique. Les matériaux obtenus à partir des résidus solides et liquides ont été puis lyophilisé pour analyse. La quantité totale de sucres réducteurs est passée à 106,10 (mg glucose/g) dans les matériaux traités combinés à partir d'une teneur initiale de 5,32 (mg glucose/g MC brut, tandis que le contenu phénolique total (estimé par Folin-Cilcateau) est passé de 45,68 mg d'acide gallique/g dans le MC non traité jusqu'à 291,86 (mg d'acide gallique/g lyophilisé Matériel). L'analyse FTIR a indiqué la rupture des liaisons glycosidiques entre la cellulose et l'hémicellulose, confirmant l'efficacité des procédures d'extraction.

(ZHANG *et al.*, 2020) ont évalué l'extraction des polyphénols et des polysaccharides de MC en utilisant de l'eau avec aide à l'échographie. Les auteurs ont utilisé une conception composite centrale pour maximiser le rendement des polysaccharides et des polyphénols. Les rendements en polyphénols et polysaccharides de 1,0 et 1,1 % en poids. Ont été obtenues dans des conditions optimales (rapport solide/eau 1 :23, ultrasons 213 W puissance, 30 min d'extraction et 68 C de température d'extraction).

(WONGSIRIDETCHAI *et al.*, 2021) ont caractérisé les manno-oligosaccharides issus de MC et évalué leurs propriétés prébiotiques. Les MC ont été soumis à un traitement alcalin avec NaOH et puis digéré par la mannanase de *Bacillus subtilis* GA2. Les résultats de la caractérisation ont montré que le MC traité à l'alcali comprenait principalement du mannose, du mannobiose, du mannotriose et mannopentose. Les résultats ont montré que le mélange obtenu de manno-oligosaccharides avait des propriétés prébiotiques (favorise la croissance des bactéries lactiques, tolérance sous gastro-intestinal conditions et inhibition de la croissance des agents pathogènes), confirmant le potentiel des MC en tant qu'agent prébiotique.

La récupération des composés phénoliques à partir de MC a été largement étudiée, étant donné l'attention considérable que cette classe de composés a reçue en raison de leurs effets bénéfiques sur la santé humaine (**OLIVEIRA et FRANCA ,2016**). Différentes techniques

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

D'extraction ont été employés, les études antérieures se concentrant sur l'extraction solide-liquide traditionnelle (MURTHY et NAIDU, 2010 ; PANUSA *et al.*,2013).

Les extraits d'isopropanol obtenus à partir de MC ont été étudiés en termes de leur action antimycosique et des potentiels anti-ochratoxigènes (BADR *et al.*, 2022). Les substances rencontrées en plus grande quantité étaient la caféine et les composés phénoliques suivants : (R)-(+)-rosmarinique, syringique, gallique, sinapique, acides salicylique, chlorogénique et caféique. Apigénine-7-glucoside, naringine, épicatechine et les catéchines étaient les flavonoïdes prédominants. Les extraits obtenus ont montré une dégradation efficacité contre la croissance des souches d'*Aspergillus*. Les extraits de MC ont fourni une désintoxication en milieu liquide pour les aflatoxines (AFs) et l'ochratoxine A (OCA) et effet antifongique contre les souches fongiques toxigènes, en particulier *A. flavus* et *A. ochraceus*. À la fois éthanolique et extraits aqueux ont également été évalués quant à leurs propriétés antibactériennes, antiradicalaires et potentiels antiprolifératifs (DIAZ-HERNANDEZ *et al.*,2022). Bien que des rendements légèrement supérieurs aient été obtenus avec de l'eau extraction, la quantité de composés phénoliques extraits était significativement plus élevée avec l'éthanol. Dans tests antiprolifératifs, les extraits de MC ont montré une diminution significative de la viabilité des deux cultures de cellules de carcinome pulmonaire et cervical (C33A), augmentation des cellules apoptotiques et promotionarrêt du cycle cellulaire. La teneur plus élevée en phénols totaux et l'activité antiradicalaire du MC éthanolique extraits ont ainsi été mis en relation avec leur activité antiproliférative dans les cellules cancéreuses et leur activité antibactérienne contre les isolats cliniques (DIAZ-HERNANDEZ *et al.*,2022).

Une étude récente (RATHNAKUMAR *et al.*, 2021) a proposé l'utilisation d'une amine tertiaire (N, N-diméthylcyclohexylamine, CyNMe₂) pour séparer simultanément le MC en trois fractions : une fraction glucidique ; une fraction phénolique ; et une fraction lipidique constituée principalement d'acide palmitique et linoléique. Bien que les rendements de chaque fraction aient été influencés par les conditions d'extraction, il a été eu observé que des extractions de 24 h dans une plage de température de 35 à 25 C conduisaient à des rendements en glucides (68 à 83 %), composés phénoliques (479 à 535 mg l) et lipides (9,97 à 11,54 %). Cette étude est particulièrement pertinente en termes de caractéristiques technologiques, étant donné que le solvant utilisé était capable de produire des rendements satisfaisants de chaque fraction à la fois. Bien que la plupart des travaux sur l'extraction de substances bioactives de MC se sont concentrés sur l'extraction des polysaccharides, des polyphénols et de la caféine, quelques des

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

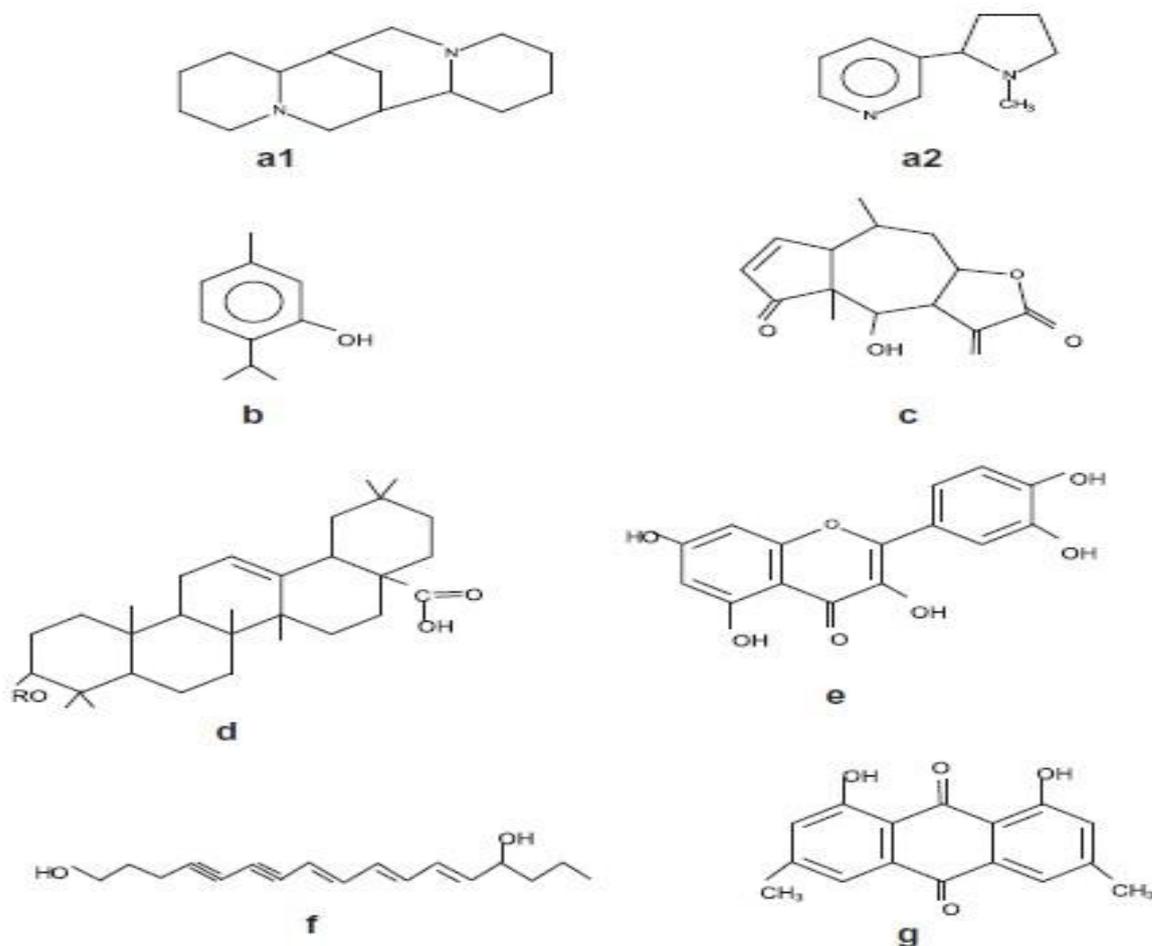
études ont examiné la possibilité d'utiliser le MC comme source de protéines et de peptides (VALDES *et al.*,2020 ; RAMIREZ *et al.*,2021). (VALDES *et al.*,2020) ont réalisé une évaluation comparative de deux méthodes d'extraction de protéines à partir du MC.

Il a été observé qu'une extraction à base d'urée Tampon a permis une extraction plus efficace des protéines par rapport à l'utilisation de Tris-HCl Tampons. La teneur en protéines la plus élevée a été obtenue à partir d'espresso MC. De plus, le produit il a été démontré que les hydrolysats de protéines ont des activités antioxydantes et inhibitrices de l'ECA. L'étude développée (RAMIREZ *et al.*,2021) se sont concentrés sur l'obtention d'hydrolysats de protéines avec bio activité potentielle après fermentation de MC à l'aide de *Bacillus clausii*. La fermentation a pu multiplier par 2,7 les quantités de protéines totales, de protéines solubles et d'hydrolysats de protéines, 2,2 et 1,2 fois, respectivement. Il convient de noter qu'il y a eu une augmentation des montants de sept peptides qui ont montré une capacité antioxydante potentielle, la conversion de l'angiotensine l'activité enzymatique et l'activité inhibitrice de la dipeptidyl peptidase-IV.

II.6. Classification et synthèse des composés bioactifs

La classification des composés bioactifs dans différentes catégories est toujours incohérente, cela dépend plutôt de l'intention du particulier classification. Par exemple, les classifications biosynthétiques qui servir la simplicité de la description des voies de biosynthèse qui ne correspondent pas à la portée de la classification pharmacologique. Selon Croteau et al. (2000) composés bioactifs de plantes sont divisés en trois catégories principales : (a) les terpènes et les terpénoïdes (environ 25 000 types), (b) des alcaloïdes (environ 12 000 types) et (c) les composés phénoliques (environ 8000 types). Structures générales des différentes catégories de composés bioactifs sont donnés dans la **Figure.II.3**.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE



Alcaloïdes (a1 et a2), monoterpènes (b), sesquiterpènes (c), triterpènes, saponines, stéroïde (d), flavonoïdes (e), polyacétylènes (f), polycétides (g)

Figure. II. 3. Structures générales des différentes catégories de composés bioactifs végétaux (AZMIR.,2013).

II.7. Extraction des composés bioactifs

Considérant les grandes variations parmi les composés bioactifs et un grand nombre d'espèces végétales, il est nécessaire de constituer une approche standard et intégrée pour éliminer ces composés porteurs de bienfaits pour la santé humaine. (FARNSWORTH *et al.*,1985) ont rapporté une approche intégrée montrant la séquence des plantes médicinales étudiée, qui a commencé à partir de la collecte de noms de noms fréquemment utilisés usines et s'est terminée par l'industrialisation. Il est uniquement possible d'effectuer une séparation, une identification, et la caractérisation des composés bioactifs suivie d'une analyse appropriée processus d'extraction. Différentes techniques d'extraction doivent être utilisées dans diverses conditions pour comprendre la sélectivité d'extraction provenant de diverses sources naturelles.

Différentes techniques, beaucoup d'entre elles restent presque les mêmes pendant des centaines d'années ; peut également être utilisé pour extraire les composés bioactifs.

Toutes ces techniques ont des points communs objectifs, (a) extraire des composés bioactifs ciblés échantillon de plante complexe, (b) pour augmenter la sélectivité des méthodes analytiques (c) pour augmenter la sensibilité du dosage biologique en augmentant la concentration de composés ciblés, (d) pour convertir le bioactif composés sous une forme plus appropriée pour la détection et la séparation, et (e) fournir une méthode solide et reproductible qui est indépendante des variations dans la matrice de l'échantillon (SMITH, 2003).

Les composés bioactifs des déchets végétaux peuvent être extraits avec différentes méthodes, qui peuvent être classées en 2 grandes catégories : techniques conventionnelles et nouvelles. Les avantages comparatifs et les limites des diverses techniques d'extraction sont mentionnés dans les tableaux II.7 et II.8.

II.7.1. Techniques d'extraction conventionnelles

Les méthodes d'extraction comprennent plusieurs approches, chacune utilisée pour un objectif différent et d'extraire des composés biologiquement actifs de matériel végétal. Ces méthodes sont basées sur la capacité d'extraction des différents solvants utilisés et le mode de chauffage et/ou d'agitation. La perte de polyphénols a été constatée par ionisation, hydrolyse et oxydation pendant le processus d'extraction lorsque le long temps d'extraction est appliquée (LIE *et al.*, 2005). Les techniques d'extraction classiques sont décrites brièvement avec leurs avantages et leurs inconvénients dans le tableau II.7.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Tableau. II.7 . Techniques d'extraction conventionnelles des composés bioactifs (KUMAR JHA et SIT, 2022).

Méthodes d'extraction Conventionnelles	Avantages	Limites
Macération	Faible coût d'investissement, modulation de la sélectivité par choix du solvant	Destruction thermique de certains composés
Hydrodistillation	Les composés bioactifs se séparent automatiquement de l'eau	Certains composants volatils peuvent être Perdus si la température d'extraction est trop haute
Infusion	Il faut moins de temps pour l'extraction et la chaleur latente de la vaporisation est inférieure à l'eau, donc moins de chaleur sera consommée pour faire un extrait concentré	De grandes quantités de solvant sont Obligatoires
Digestion	Le rendement d'extraction peut être augmenté par chauffage	prend beaucoup de temps de fonctionnement
Décoction	Les modes opératoires sont simples	de grandes quantités de solvant sont nécessaires
	augmente le rendement	prend beaucoup de temps et

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Percolation	d'extraction en offrant un meilleure temps de contact entre le solvant et la matière végétale	utilise beaucoup de Solvants
Extraction exhaustive en série	Une large gamme de composés est extraite	Un chauffage prolongé peut provoquer la la dégradation des composés
Soxhlet	Simplicité, applicabilité à hautes températures, booste la cinétique du procédé	Mauvaise efficacité d'extraction, temps long
Extraction à reflux conventionnelle	Nécessite moins de temps d'extraction et de solvant	Risque de destruction thermique de certains composés

II.7.2. Nouvelles technologies

Les nouvelles techniques émergent en raison des limites des méthodes conventionnelles. Les méthodes classiques d'extraction sont caractérisées par une utilisation de solvants coûteux, temps d'extraction plus long, dégradation possible des composés, et une faible sélectivité d'extraction (DE CASTRO et GARCIA-AYUSO, 1998). Pour faire face à ces limitations, de nouvelles techniques ont été développés.

Les techniques d'extraction nouvelles sont décrites sommairement avec leurs avantages et leurs inconvénients dans le **tableau II.8**.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Tableau. II.8 .Nouvelles technologies d'extraction des composés bioactifs (JHA et SIT, 2022).

Méthodes d'extraction Nouvelles	Avantages	Limites
Extraction par fluide supercritique	Basse température, rendements élevés ; principalement pour les composés à faible polarité, mais peut être ajusté	Coûts d'investissement élevés
Extraction assistée par micro-ondes	Le temps de traitement et l'utilisation de solvants sont réduits	Températures localement élevées ; solvants polaires
Extraction assistée par ultrasons	Réduction du temps du procédé, extraction à basse température	Gonflement du matériel végétal
Extraction liquide sous pression	La viscosité et la tension superficielle des solvants peuvent être réduites en augmentant la solubilité et le taux de transfert de masse, ce qui entraîne un taux d'extraction plus élevé	Faible débit ; frais d'investissement élevé ; haute température
Champs électriques pulsés	Réduction du temps de traitement et de l'utilisation de solvants	Nécessite une conductivité ; activité des enzymes
Extraction assistée par haute pression	ne cause pas de dommages majeurs ni de dénaturation	peut produire des changements structurels

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

hydrostatique	et respectueux de l'environnement	dans les matériaux structurellement fragiles
Extraction assistée par enzyme	Extraction facilitée d'un tissu végétal	Longue opération supplémentaire en conditions de milieu humide
Extraction d'eau subcritique	Extraction efficace et respectueuse de l'environnement la méthode et le traitement sont plus rentables	catalyse l'hydrolyse de certains composés
Extraction par décharge électrique haute tension	Nouvelle, efficace, et respectueux de l'environnement et augmentation des rendements par désintégration des tissus	Un grand nombre de radicaux libres sont générés, ce qui peut entraîner l'oxydation des molécules cibles
Extraction assistée par ultrasons et micro-ondes (UMAE)	Une approche forte et efficace pour produire des rendements avec peu de consommation de solvant et temps d'extraction rapide	Le taux d'extraction diminue à mesure que la longueur de la chaîne alkyle augmente

II.8. Caractérisation, isolement des constituants mineurs biologiquement actifs présents dans le marc de café

Le rendement des composés bioactifs extraits des MC dépend des espèces de café, des conditions de stockage et de la méthode d'extraction, mais des solvants habituellement polaires ou intermédiaires polaires sont utilisés (**Tableaux. II.9**).

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Tableau.II.9 . Extraction de différents matériaux phénoliques des MC (GAE — équivalents acide gallique ; ACG — acide chlorogénique) (KOVALCIK., 2017 ; OBRUCA et al.,2018).

Méthode	Solvant	Type de Marc de café	Extraits	Rendement des extraits
Saponification directe	50 % de KOH dans 95 % d'éthanol	MC séchés	Diterpènes	2,14 mg de kahweol/g 4,67 mg de cafestol/g
Auto hydrolyse dans Cylindrique inoxydable Réacteur en acier à 200 °C	Eau	MC séchés	Phénoliques	28.26 mg GAE/g
Hydrothermique Traitement dans Autoclave à 120 °C	Eau	MC séchés	Phénoliques	32.92 mg GAE/g
Successif Extraction à Soxhlet	Éthanol:eau (50:50)	MC séchés MC dégraissés	Phénoliques	273,34 mg GAE/g 255,61 mg GAE/g
Extracteur	Isopropanol:eau (60:40)	MC séchés	Phénoliques	11.7% (w/w)

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

Liquide-solide Extraction à 60–70 °C	Ethanol : eau (60 :40)	MC séchés	Phénoliques ACG	11,83–28,26 mg GAE/g
Eau surcritique Extraction	Eau	MC séchés	Phénoliques	47.25 mg GAE/g

II.9. Écotoxicité

Le marc de café présente une certaine écotoxicité à cause de la présence de caféine, de polyphénols et de tanins. De plus, cette matière possède une forte demande biologique en oxygène et ne peut être rejetée dans la nature telle quelle (CARASSOU, 2015).

II.10. Conclusion

Le café est l'une des boissons les plus consommées au monde ; et il est le deuxième produit commercialisé au monde derrière le pétrole.

La production, la transformation et la consommation du café génèrent des quantités de déchets et de résidus liquides et solides,

Parmi ces déchets figure le marc de café ; qui est un résidu causant des dégâts à l'environnement (sol et eau).

D'après les résultats de l'étude bibliographique de ce chapitre nous pouvons constater que le résidu du marc de café de par sa composition chimique varié et riche et ses caractéristiques physicochimiques, peut être utilisé comme ressource quasiment gratuite pour la production de biocarburants et de composés chimiques et par conséquent permet d'opter pour des solutions de valorisation à forte valeur ajoutée dans des domaines aussi divers que l'alimentaire, l'agronomie, l'environnement, l'énergie, les matériaux, la nutraceutique, pharmacie...

Suite à sa composition biochimique, une étude toxicologique et écotoxique s'impose avant toute utilisation potentielle.

Jusqu'à présent, la plupart des techniques de valorisation du marc de café sont réalisées à l'échelle de laboratoire. Les recherches futures doivent se canaliser sur une étude technico-économique de la production de biocarburants et de produits chimiques à l'échelle industrielle.

Une étude plus approfondie de la composition moléculaire du marc de café et de leurs fonctionnalités est nécessaire, pour opter pour telle ou telle application. Enfin les différents types de valorisation doivent se réaliser dans le cadre du développement durable et de la protection de l'environnement.

Références bibliographiques

A

1. ACEVEDO F, RUBILAR M, SCHEUERMANN E, CANCINO B, UQUICHE E, GARCES M, INOSTROZA K, SHENE C.,2013.- Spent coffee grounds as a renewable source of bioactive compounds. *J.Biobased Mater. Bioenergy* 7, 420–428.
2. ANDRADE K.S, GONC ALVEZ R.T, MARASCHIN M, RIBEIRO-DO-VALLE R.M, MARTÍNEZ J, FERREIRA S.R.S., 2012. *Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. Talanta* .,88:544–552.
3. ANDRADE C, ROSA PERESTRELO AND JOSE S, CAMARA., 2022 -*Valorization of Spent Coffee Grounds as a Natural Source of Bioactive Compounds for Several Industrial applications A Volatilomic Approach, P02.*
4. ARAUZO P.J.,LUCIAN M. DU L, OLSZEWSKI M.P, FIORI, L, KRUSE A.,2020-*Improving the recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds by using Bioenergy* , 139: 105616.
5. ATABANI A.E, IMTIAZ A, NAQVI S.R, BADRUDDIN I.A, ASLAM M, MAHMOUD E, ALMOMANI F , JUCHELKOV´A D , ATELGE M.R ,ET KHAN T. M. Y., 2022 - A state-of-the-art review on spent coffee ground (SCG) pyrolysis for future biorefinery. *Chemosphere.*, 286 :131- 730.
6. AZMIR A, I.S.M. ZAIDUL , M.M. RAHMAN , K.M. SHARIF , A. MOHAMED , F. SAHENA , M.H.A. JAHURUL, K. GHAFOOR C, N.A.N. NORULAINI, A.K.M. OMAR.,2013 -*Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials. Journal of Food Engineering* 117 : 426–436.

B

7. BADR A.N. EL-ATTAR M.M,ALI H.S, ELKHADRAGY M.F, YEHIA H.M, FAROUK A.,2022-Spent coffee grounds valorization as bioactive phenolic source acquired antifungal, anti-mycotoxigenic, and anti-cytotoxic activities. *Toxins* 2022, 14, 109.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

8. BALLESTEROS L.F, RAMIREZ M.J, ORREGO, C.E., TEIXEIRA, J.A, MUSSATTO S.I., 2017.- Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using .
9. BALLESTEROS L.F, TEIXEIRA J.A ET MUSSATTO S.I., 2010- Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol*, vol. 7, p. 3493-3503.
10. BALLESTEROS L.F, TEIXEIRA, J.A, MUSSATTO S.I., 2014. -Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food Bioprocess Technol*. 7, 3493–3503.
11. BALZANO M, LOIZZO M.R, TUNDIS, R, LUCCI P, NUNEZ O, FIORINI D, GIARDINIERI A.N, FREGA G, PACETTI D., 2020 -Spent espresso coffee grounds as a source of anti-proliferative and antioxidant compounds. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 2020, 59, 102254.
12. BELVISO S, GHIRARDELLO D, RANTSIOU K, GIORDANO M, BERTOLINO, M, BORGOGNA D, CAVALLERO M.C, DAL BELLO B, CENA C, ROLLE L, ZEPPA G ET GERBI V., 2014- Phytochemical and microbiological stability of spent espresso coffee grounds in capsules. *Food Research International*, vol. 148, p. 294-299.
13. BERNHOFT A., 2010. - brief review on bioactive compounds in plants. In: *Proceedings from a symposium held at The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, Norway*.
14. BHATURIWALA R. A, MODI HASMUK, A., 2020- Extraction of oligosaccharides and phenolic compounds by roasting pretreatment and enzymatic hydrolysis from spent coffee ground. *J. Appl. Biol.*, 8, 75–81.
15. BITENCOURT R.G, MELLO F.M, CABRAL F.A, MEIRELLES A.J., 2020- High-pressure fractionation of spent coffee grounds oil using green solvents. *J. Supercrit. Fluids* ., 157 : 104689.
16. BRAVO J, JUANIZ I, MONENTE C, CAEMMERER B, KROH L.W, DE PENA, M.P ET CID, C., 2012.- Evaluation of Spent Coffee Obtained from the Most Common Coffeemakers as a Source of Hydrophilic Bioactive Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, p. 12565-12573. <http://pubs.acs.org/journal/jafcau> (Page consultée le 12 juin 2015 .

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

17. BRAVO J, MONENTE C, JUANIZ I ET DE PENA M.P., 2013.- Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, vol. 50, p. 610-616. www.elsevier.com/locate/foodres (Page consultée le 6 juin 2015).



18. CARASSOU F., 2015- *une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté. Essai, maîtrise en environnement Univ. DE SHERBROOKE .103p.*
19. CAVIN C, HOLZHAUSER D, SCHARF G, CONSTABLE A, HUBER W.W, SCHILTER B., 2002.- Cafestol and kahweol, two coffee specific diterpenes with anticarcinogenic activity. *Food Chem. Toxicol.*40, 1155–1163.
20. CHEN K.I, LO Y.C, LIU C.W, CHOU C ET CHENG K.C., 2013.- Enrichment of two isoflavone aglycones in black soymilk by using spent coffee grounds as an immobiliser for b-glucosidase. *Food Chemistry*, vol. 139, p. 79-85. www.elsevier.com/locate/foodchem (Page consultée le 12 juin 2015).
21. CORREA J.L.G, SANTOS J.C.P, FONSECA B.E, CARVALHO A. G. D. S., 2014. Drying of spent coffee grounds in a cyclonic dryer. *Coffee Sci.* 9, 68–76.
22. CRUZ R, CARDOSO, M.M, FERNANDES LET OLIVEIRA, M., 2009. -Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, p. 7777- 7784.
23. CRUZ R, CARDOSO M.M, FERNANDES L, OLIVEIRA M, MENDES E., BAPTISTA P, MORAIS S. ET CASAL S., 2012.- Espresso Coffee Residues: A Valuable Source of Unextracted Compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 60, n° 32, p. 7777-7784.
24. CRUZ R, MENDES E, TORRINHA A, MORAIS S, PEREIRA J.A, BAPTISTA P. ET CASAL S., 2015 - Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International.*, 73: 190-196.

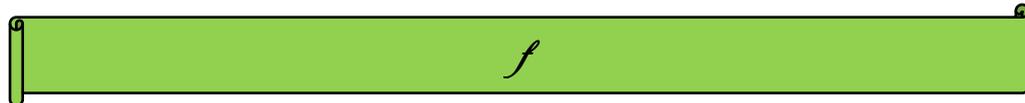


25. DÍAZ-HERNÁNDEZ G.C, ALVAREZ-FITZ P, MALDONADO-ASTUDILLO Y.I., JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ J, PARRA-ROJAS I, FLORES-ALFARO E,

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

SALAZAR R, RAMÍREZ M.,2022- Antibacterial, Antiradical and Antiproliferative Potential of Green, Roasted, and Spent Coffee Extracts. *Appl. Sci*, 12:1938.

- 26. DA SILVA M.F, PETTINATO M, CASAZZA A.A, MACIEL M.I, PEREGO P.,2022-** Design and evaluation of non-conventional extraction for bioactive compounds recovery from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds. *Chem. Eng. Res. Des.*, 177, 418–430.



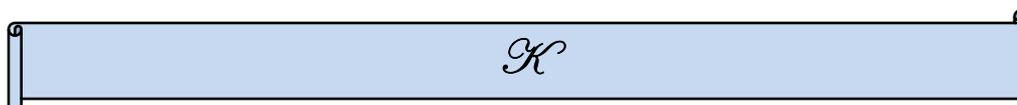
- 27. FARNSWORTH N. R, AKERELE O, BINGEL A. S, SOEJARTO D. D, & GUO Z. 1985.** -Medicinal plants in therapy. *Bulletin of the World Health Organization*, 63:6- 965.



- 28. GOMEZ-DE LA CRUZ F.J, CRUZ-PERAGON F, CASANOVA-PELAEZ P J ET PALOMAR-CARNICERO J.M., 2015.-** A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics. *Fuel Processing Technology*, vol. 130, p. 188-196.



- 29. JHA A.K, SIT N.,2022 -** A review Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods. *Trends in Food Science & Technology*, 119 :579–591.
- 30. JOHNSON k, YANG LIU AND MINGMING LU ., 2022 -** A Review of Recent Advances in Spent Coffee Grounds Upcycle Technologies and Practices



- 31. KIM J.H, AHN D, EUN J, MOON S.,2016-** Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants* ., 5: 21.
- 32. KONDAMUDI N, MOHAPATRA S ET MISRA M., 2008.** -Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 2015, n° 17 février, p. 11757-11760.;
- 33. KOVALCIK A., OBRUCA S. ET MAROVA I.B., 2018 -** Valorization of spent coffee grounds: A review. *Food and Bioproducts Processing.*, 110:104 -119.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

L

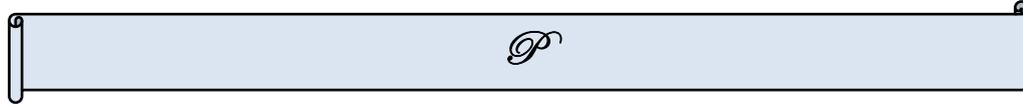
- 34. LIMOUSY L., JEGUIRIM M, DUTOURNIE P, KRAIEM N, LAJILI M ET SAID, R.,2013.-** Gaseous products and particulate matter emissions of biomass residential boiler fired with spent coffee grounds pellets. *Fuel*, vol. 107, p. 323-329. www.elsevier.com/locate/fuel (Page consultée le 12 juin 2015).
- 35. LOPEZ-BARRERA D.M,VAZQUEZ-SANCHEZ K,LOARCA-PINA, M.G.F,CAMPOS-VEGA R., 2016.-** Spent coffee grounds, an innovativesource of colonic fermentable compounds, inhibitinflammatory mediators in vitro. *Food Chem.* 212, 282–290.
- 36. LOW J.H, RAHMAN, W.A.W.A ET JAMALUDDIN, J.,2015.-** Structural elucidation of tannins of spent coffee grounds by CP-MAS 13C NMR and MALDI-TOF MS. *Industrial Crops and Products*, vol. 69, p. 456-461.

M

- 37. MAYANGA-TORRES P.C. LACHOS-PEREZ D. REZENDE, C.A. PRADO J.M. MA Z. TOMPSETT G.T. TIMKO M.T. FORSTER-CARNEIRO,T.,2019 -** Valorization of coffee industry residues by subcritical water hydrolysis: Recovery of sugars and phenolic compounds. *J. Supercrit. Fluids* ., 120, 75–85.
- 38. MURTHY P.S ET NAIDU M.M.,2012.-** Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 66, p. 45-58.
- 39. MUSSATTO S.I, MACHADO E.M.S, MARTINS S ET TEIXEIRA J.A, 2011 -** Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food Bioproc. Tech.*, 4: 661–672.
- 40. MUSSATTO S.I, CARNEIRO L.M, SILVA J.P.A, ROBERTO I.C ET TEIXEIRA, J.A., 2011.-** A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers*, vol. 83. www.elsevier.com/locate/carbpol (Page consultée le 6 juin 2015).
- 41. MACHADO S.A ET SANCHEZ, C.G.,2012-** The use of biomass residues in the brazilian soluble coffee industry. *Biomass and bioenergy*, vol. 14, p. 457-467.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

42. MORE P.R REZK JAMBRAK A ARYA S.S.,2022 - Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization. *Food Science & Technology* 128 : 296–315.



43. PATRA ET AL. BIORESOURCES AND BIOPROCESSING.,2022. - Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products Abhipriya Patra, S. Abdullah and Rama Chandra Pradhan.9:14
44. PESHEVA D., MITEVB D., PEEVAC L. ET PEEVA G., 2018 - Valorization of spent coffee grounds – A new approach. *Separation and Purification Technology.*, 192:271–277.
45. PETTINATO M. CASAZZA A.A, PEREGO P.,2019 -The role of heating step in microwave-assisted extraction of polyphenols from spent coffee grounds. *Food Bioprod. Process.*, 114:227–234.
46. PANUSA A, ZUORRO A, LAVECCHIA, R, MARROSU G, PETRUCCI R.,2013- Recovery of Natural Antioxidants from Spent Coffee Grounds.*J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 4162–4168.



47. RAMALAKSHMI K, RAO L.J.M, TAKANO-ISHIKAWA Y ET GOTO M.,2009- Bioactivities of low-grade green coffee and spent coffee in different in vitro model systems. *Food Chemistry*, vol. 115, p. 79-85.
48. RAMIREZ K,PINEDA-HIDALGO,K.V, ROCHIN-MEDINAJ.J.,2021- Fermentation of spent coffee grounds by *Bacillus clausii* induces release of potentially bioactive peptides. *LWT* , 138, 110685.
49. RAMÓN-GONÇALVES M, GÓMEZ-MEJÍA E, ROSALES-CONRADO N,LEÓN-GONZÁLEZ M.E, MADRID Y.,2019- Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses. *Waste Manag.*, 96, 15–24.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE

50. RATHNAKUMAR K. OSORIO-ARIAS J.C, KRISHNAN P, MARTÍNEZ-MONTEAGUDO S.I.,2021- Fractionation of spent coffee ground with tertiary amine extraction. *Sep. Purif. Technol.*, 274, 119111.

S

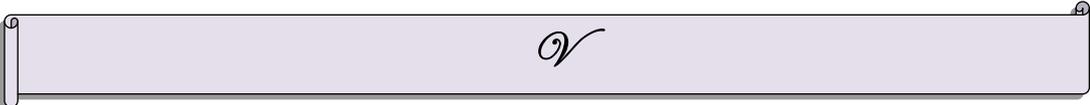
51. SHEN K ET GONDAL M.A., 2013.- Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground. *Journal of Saudi Chemical Society Silva, M.A., Nebra.*,

52. SILVA M.A, NEBRA S.A, MACHADO M.J.M ET SANCHEZ C.G.,2012 -The use of biomass residues in the brazilian soluble coffee industry. *Biomass and bioenergy*, vol. 14, p. 457-467. <http://www.journals.elsevier.com/biomass-and-bioenergy/>(Page consultée le 6 juin 2015).

53. SMITH RM., 2003. Before The Injection—modern methods of sample preparation for separation techniques. *J Chromatogr A* 1000:3–27.

T

54. TORRES-VALENZUELA L.S, BALLESTEROS-GÓMEZ A, SANIN A, RUBIO S.,2019 -Valorization of spent coffee grounds by supramolecular solvent extraction. *Sep. Purif. Technol.*, 228, 115759.

V

55. VALDÉS A, CASTRO-PUYANA M, MARINA M.L.,2020.- Isolation of proteins from spent coffee grounds. Polyphenol removal and peptide identification in the protein hydrolysates by RP-HPLC-ESI-Q-TOF. *Food Res. Int.* , 137, 109368.

56. VEGA R.C, PINA G.L, CASTANEDA H.A.V ET OOMAH D.,2015.- Spent coffee grounds : A review on current research and future prospects. *Food Science and Technology*, vol. 45, p. 24-36.

W

57. WONGSIRIDETCHAI C, JONJAROEN V, SAWANGWAN T, CHAROENRAT T ,CHANTORN S.,2021- Evaluation of prebiotic manooligosaccharides obtained from spent coffee grounds for nutraceutical application. *LWT*, 148, 111717.

CHAPITRE II : APERÇU SUR LE MARC DE CAFE



- 58. ZAMORA A.J, PASTORIZA S ET HENARES J.A.R.,2015.-** Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 61, p. 12-18.
- 59. ZENGIN G, SINAN K.I, MAHOMOODALLY M.F,ANGELONI S,MUSTAFA A.M ,VITTORI S,MAGGI F, CAPRIOLI G.,2020 -**Chemical composition, antioxidant and enzyme inhibitory properties of different extracts obtained from spent coffee ground and coffee silverskin. *Foods* ., 9: 713.
- 60. ZUORRO A,ET LAVECCHIA R.,2012.-** Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, vol. 34, p. 49-56.



Chapitre III

Valorisation du marc de café

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

III.1. Introduction

Le marc de café (MC) est la matière résiduelle obtenue lors du traitement de la poudre de café avec de l'eau chaude ou de la vapeur pour la préparation du café instantané. Près de 50 % de la production mondiale de café est transformée pour la préparation de café soluble, qui génère environ 6 millions de tonnes de MC par an (**MUSSATTO *et al.*, 2011**; **BALLESTEROS *et al.*, 2010**).

En 2019-2020, la production mondiale de café a atteint 169,34 millions de sacs de 60 kg et la consommation a été estimée à 168,39 millions de sacs. En conséquence, des alternatives écologiquement durables pour soutenir sa conversion systématique en l'un ou l'autre des produits sont recommandées dans le monde entier. (**ATABANI *et al.*, 2022**).

Le marc de café contient un grand nombre de composés organiques qui peuvent être classés en glucides, protéines, lipides, minéraux, composés azotés non protéiques et phénoliques (**PESHEVA *et al.*, 2018**).

L'objectif de ce chapitre est de dresser un inventaire bibliographique non exhaustif de l'application fonctionnelle du marc de café du point de vue alimentaire.

Ce chapitre est consacré aux applications du marc et de ses composés bioactifs dans les domaines suivants :

- Alimentation Humaine et Industrie Alimentaire
- Santé et alimentation
- Alimentation animale
- Films biodégradables pour emballages alimentaires.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

III.2. Généralités

Le café est l'une des boissons les plus populaires au monde, dont la production et la consommation entraînent de grandes quantités de déchets, à savoir le marc de café usé, constituant une source importante de composés pour plusieurs applications industrielles. (ANDRADE *et al.*, 2022).

De côté des implications environnementales, MC présente un problème d'élimination supplémentaire, car ils peuvent être utilisés pour la falsification du café torréfié et moulu et sont très difficiles à détecter (REIS *et al.*, 2013 ; REIS *et al.*, 2017).

L'industrie du café soluble doit faire très attention à son élimination, et la plupart du temps, ce résidu est simplement utilisé comme combustible de chaudière par la même industrie. De nombreux des études récentes se sont concentrées sur la recherche d'utilisations alternatives pour MC (ADRIANA *et al.*, 2022).

L'industrie du café soluble doit faire très attention à son élimination, et la plupart du temps, ce résidu est simplement utilisé comme combustible de chaudière par la même industrie. De nombreux des études récentes se sont concentrées sur la recherche d'utilisations alternatives pour MC (ADRIANA *et al.*, 2022).

III.3. Domaines de valorisation du marc de café

De multiples voies de valorisation et d'utilisations sont possibles avec le marc de café. Parmi celles-ci se retrouvent les productions d'éthanol, de biodiesel, de combustibles pour les fours industriels et de granules de combustion pour les fours résidentiels. Le marc de café peut aussi être utilisé comme 17 substrats pour la culture de micro-organismes, comme compost, peut être utilisé dans l'industrie alimentaire, dans la production de biomatériaux, dans la production de charbon actif, dans le traitement des eaux usées des industries et de l'eau potable, etc (CARASSOU, 2015).

III. 3.1. Santé et alimentation

Le marc de café possède plusieurs propriétés bioactives. La récupération spécifique du marc de café permettrait l'utilisation de ces bioactifs dans l'alimentation et ainsi améliorer la

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

santé des consommateurs. En outre, certains antioxydants présents dans la nourriture humaine sont synthétiques et leur sécurité est mise en doute. Ainsi, les antioxydants présents dans le marc de café peuvent servir de substitut aux synthétiques en raison de leur bénéfice dans la santé. La substitution d'antioxydants synthétiques dont la sécurité est concernée par les naturels pourrait également être bénéfique en raison de leur implication sur la santé et la fonctionnalité dans le système alimentaire (CARASSOU, 2015).

III.3.1.1. Santé et Cosmétique

L'une des propriétés les plus précieuses du MC est sa teneur élevée en antioxydants et en composés phénoliques tels que l'acide chlorogénique, la caféine et les flavonoïdes. La plupart de ces recherches se concentrent sur l'isolement de ces composés par diverses méthodes d'extraction. Pour s'assurer que le MC utilisé est riche en composé d'intérêt, la spectroscopie Fourier infrarouge (FTIR) s'est avérée être un outil efficace pour l'évaluation de la teneur en composé précieux dans le MC. (MCNUTT et HE, 2019).

Le MC est utilisé pour un large éventail d'applications dans la santé et l'alimentation. L'un de ces moyens est de lutter contre les cellules cancéreuses. Des chercheurs ont observé l'apoptose des cellules cancéreuses du côlon lorsque les cellules sont exposées à du MC non digéré et à son métabolite colique. En plus de lutter contre le cancer, il peut également aider à le prévenir. Des chercheurs ont créé des produits de soin de la peau contenant des extraits de MC qui réduisent le photovieillissement et d'autres effets nocifs de la lumière du soleil. (MCNUTT et HE, 2019).

Le MC contient de l'acide chlorogénique (ACG), un composant majeur des graines de café vert. (GARCIA-GUTIERREZ *et al.*, 2017). La consommation de l'acide chlorogénique (ACG) peut entraîner des bienfaits remarquables pour la santé, comme dans différents types de cancer. L'ACG est absorbé et métabolisé dans tout le tractus gastro-intestinal.

(GARCIA-GUTIERREZ *et al.*, 2017) Les caroténoïdes sont une autre classe de composés aux propriétés bénéfiques pour la santé qui peuvent être produits à partir du MC OBRUCA *et al.* Converti le MC en polyhydroxyalcanoates (PHA) et en caroténoïdes. Après extraction de l'huile, le MC a été hydrolysé et l'hydrolysate résultant a été utilisé pour la production de

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

caroténoïdes par la souche de levure *caroténogène Sporobolomyces roseus*. Le même groupe de recherche a également converti les milieux à base de MC en caroténoïdes avec diverses levures et a trouvé que *Sporobolomyces roseus* était le plus efficace, avec un rendement maximal de 1,26 mg/g (MCNUTT et HE, 2019).

Le MC contiennent de grandes quantités de β -mannane qui peuvent être hydrolysées thermiquement en mannooligosaccharide (MOS), qui a une application potentielle comme prébiotique dans l'alimentation humaine et animale. (BALLESTEROS *et al.*, 2014)

Le MC a un potentiel antioxydant élevé, des quantités élevées de fibres alimentaires et d'autres composés tels que la caféine. Ces caractéristiques peuvent fournir un potentiel de santé cardiovasculaire. Les composés antioxydants ont de nombreuses applications dans les domaines alimentaire, cosmétique et pharmaceutique, car ils peuvent protéger contre les maladies chroniques et dégénératives et diminuer les facteurs de risque de MCV. (BALLESTEROS *et al.*, 2014)

Le MC a été proposé en tant qu'agent protecteur (Nutraceutique) contre l'apparition et les maladies inflammatoires chroniques, telles que les maladies inflammatoires de l'intestin et la polyarthrite rhumatoïde. Cet effet protecteur est associé aux métabolites acides gras à chaîne courte (AGCC) produits par la fermentation colique du MC (AGCC), qui présentaient un fort potentiel anti-inflammatoire en supprimant la production d'oxyde nitrique et en inhibant les médiateurs inflammatoires tels que les cytokines IL-10, CCL-17, CXCL9, IL-1_α et IL-5 (MCNUTT et HE, 2019).

Le MC peut être utilisé dans le domaine cosmétique, comme produit de soin de la peau. Une émulsion contenant 35 % d'huile extraite des MC présentait des caractéristiques prometteuses en tant qu'écran solaire. Cette formulation est industriellement évolutive et adaptée à une utilisation topique selon l'évaluation rhéologique, mécanique et de sécurité. (MCNUTT et HE, 2019).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

III.3.1.2. Alimentation Humaine et Industrie Alimentaire

De nombreux constituants du marc de café cités précédemment peuvent être utilisés dans l'industrie de l'alimentation. Les polyphénols présents dans le marc de café sont aussi des composés d'intérêt pour l'industrie alimentaire. Ensuite, la composition en protéine du marc de café donne la possibilité de l'utiliser dans l'alimentation humaine. La haute teneur en BCAA et la faible concentration en acides aminés aromatiques du marc de café sont recherchées pour produire des aliments physiologiquement fonctionnels et répondre à des besoins précis tels que la malnutrition issue de certaines maladies (cancer, brûlure, traumatisme, insuffisance hépatique, etc.). (CARASSOU, 2015)

Les polyphénols végétaux sont des composés chimiques importants car ce sont de puissants antioxydants capables de prévenir le développement du cancer. À cet égard, les grains de café et le marc de café épuisé sont enrichis de composés bioactifs tels que les polyphénols. Par exemple, l'acide chlorogénique et ses dérivés, à savoir. Les acides caféoylquinique, les acides feruloylquiniques, les acides p-coumaroylquiniques et les esters des acides caféique et férulique avec l'acide quinique sont présents dans les grains de café et le marc de café épuisé (ZUORRO et LAVECCHIA, 2012). L'acide chlorogénique subit partiellement une isomérisation et une déshydratation pendant la torréfaction des grains de café, ce qui donne de la quinolactone et des composés isomérisés. Ces antioxydants peuvent être utilisés pour la production d'aliments fonctionnels et de compléments alimentaires à valeur ajoutée. Une étude de ZUORRO et LAVECCHIA a démontré qu'environ 90 % d'extraits phénoliques peuvent être obtenus à partir de café moulu épuisé en utilisant de l'éthanol aqueux au cours de la méthode d'extraction par solvant (ZUORRO et LAVECCHIA, 2012).

Les grains du marc de café peuvent servir de support enzymatique pour des processus d'enrichissement en isoflavones dans le lait de soya. Aussi, le marc de café possède une très bonne propriété émulsifiante qui peut être utilisée dans l'industrie alimentaire (BALLESTEROS *et al.*, 2010). (CARASSOU, 2015).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

En raison de sa forte concentration en antioxydants, le MC a été étudié pour être utilisé dans l'industrie alimentaire pour ses bienfaits pour la santé. Il a été démontré que l'ajout de MC à la viande et à d'autres aliments fournit d'excellentes propriétés antioxydantes, tout en réduisant la croissance bactérienne pathogène et la détérioration des aliments. En plus d'être une bonne source d'antioxydants, il s'est également avéré riche en fibres et en acides aminés essentiels, et faible en sucres glycémiques. Des chercheurs ont également constaté que le MC dans un tube digestif simulé avait encore une activité prébiotique élevée après la digestion. Enfin, il a été découvert que la MC réduisait la libération de médiateurs inflammatoires, aidant ainsi à contrôler l'inflammation dans le côlon. Pour ces raisons, on pense qu'il s'agit d'un bon additif alimentaire qui peut réduire le risque d'obésité et de diabète. **(MCNUTT, et HE, 2019).**

L'hydrolysate de marc de café épuisé a été consommé comme substrat par la levure *caroténogène Sporobolomyces roseus* pour la production de caroténoïdes **(OBRUCA et al., 2015).** **(KARMEE, 2018).**

Les tanins sont également des composés d'intérêt dans cette industrie. De cette manière, il est intéressant d'étudier les possibilités dans ce domaine **(MUSSATTO et al., 2011)**. Aussi, le marc de café possède des propriétés probiotiques recherchées dans l'industrie alimentaire. Toutefois, le marc de café utilisé dans cette optique doit au préalable être dénué de mélanoides, car ces composés présents dans le marc de café possèdent une très bonne activité antimicrobienne. Cependant, grâce à cette propriété antimicrobienne, les mélanoides peuvent être utilisés pour lutter contre la croissance de pathogènes dans les aliments. **(ZAMORA et al., 2015)** **(CARASSOU, 2015).**

Le MC a été utilisé comme boisson originale ; en effet, une boisson distillée à l'arôme de café a été développée par extraction aqueuse de composés aromatiques à partir de MC, complétée par du sucre et la production d'éthanol. **(SAMPAIO et al., 2013)**

Le fait que le MC puisse être considéré comme une riche source de fibres a suscité certaines études sur son utilisation dans les produits de boulangerie. **(MARTINEZ-SAEZ et al., 2017)** ont évalué l'utilisation de MC comme aliment ingrédient dans les biscuits. Les

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

résultats ont confirmé que le MC est une source naturelle d'antioxydant insoluble fibres et acides aminés essentiels. MC a été ajoutés aux formulations de biscuits avec édulcorants hypocaloriques et Oligo fructose. Les résultats ont indiqué que le MC pouvait être utilisé directement comme ingrédient alimentaire dans les biscuits (jusqu'à 4 % p/p) sans affecter la valeur nutritionnelle ou qualité sensorielle du produit. MC et le résidu obtenu après extraction supercritique De sa teneur en huile (MC R) ont été utilisés pour la préparation de biscuits (SHARMA *et al.*, 2021). Le tableau suivant résume les principales applications du marc de café dans le secteur alimentaire.

Tableau.III.1: Utilisations du marc de café dans la production alimentaire (ARYA *et al.*,2021)

Marc de café	Application	Fonction active
Fibre alimentaire antioxydante	Des biscuits	Améliorer et Activité locomotrice circadienne
Fibres alimentaires	Produit de boulangerie	Antioxydant
Fibres alimentaires	Sucres (mannose, galactose, arabinose et glucose homopolymère)	Valeur ajoutée
Fibre insoluble antioxydante, essentielle acides aminés, sucres à faible indice glycémique,	Des biscuits	Le risque de maladies chroniques Comme l'obésité et le diabète
Composés phénoliques antioxydants	Boissons fermentées et distillées	Valeur ajoutée comme boissons

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Composés aromatiques (alcools, esters, aldéhydes et acides)	Boissons alcoolisées distillées	-
Composés phénoliques, acide chlorogénique, caféine et fibres alimentaires	Ingrédients alimentaires favorisant la santé	Valeur ajoutée
Lignocellulose	Sucres, composés bioactifs	Additifs alimentaires
Polyphénols, caféine, antioxydants	Composés bioactifs	Valeur ajoutée

III.3.1.3. Alimentation animale

La première voie viable de valorisation du Marc de café était de l'appliquer comme additif alimentaire pour l'alimentation animale. Malheureusement, le MC non modifié souffre d'une teneur élevée en composés phénoliques et en caféine, ce qui limite leur digestibilité (KOVALCIK *et al.*, 2018).

Dans d'autres travaux, des chercheurs ont constaté que le MC brut était une matière première animale appropriée, mais que la fermentation de celui-ci produisait une matière première impropre à la consommation animale. (MCNUTT et HE, 2019).

D'autres travaux ont montré que le marc de café peut être incorporé à la nourriture des animaux domestiques comme les ruminants, les poulets et les lapins. Cependant, la haute teneur en lignine dans le marc de café pose des limites à cette option. (MUSSATTO *et al.*, 2011). (CARASSOU, 2015).

III.4. Récupération des composés du marc de café

III.4.1. Récupération d'huile

La teneur en huile du MC varie de 10 à 15 % en poids, selon les variétés de café (ZABANIOTOU et KAMATEROU, 2019).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

(SOMNUK *et al.* 2017) ont étudié l'effet de quatre solvants différents (hexane, éthanol, éthanol hydrique et méthanol) sur le rendement en huile de café, en utilisant un procédé de circulation. Les conditions optimales (durée d'extraction de 30,4 min et rapport de DMC à hexane de 22,5 g/g) ont donné un rendement en huile d'environ 11,8 % en poids. (PHIMSEN *et al.* ,2016) ont utilisé un extracteur Soxhlet et du n-hexane comme solvant afin d'extraire l'huile des MC séchés. L'huile extraite a donné de 10 à 13 % en poids db MC, puis des procédés MC à extraction unique pour les composés à haute valeur ajoutée rapportés dans la littérature.

III.4.2. Récupération des polysaccharides

Les polysaccharides jouent un rôle multiple dans le processus de la vie et présentent un immense potentiel dans les industries de la santé, de l'alimentation et des cosmétiques, en raison de leur contenu en bio activités ayant des effets thérapeutiques et une toxicité relativement faible. En raison de leur énorme hétérogénéité structurale, les approches d'isolement et de purification des polysaccharides sont distinctes de celles des autres macromolécules telles que les protéines, etc. (ZABANIOTOU *et* KAMATEROU ,2019). Par conséquent, diverses méthodes largement utilisées dans l'isolement et la purification des polysaccharides. L'extraction de polysaccharides à partir de MC a été étudiée, en utilisant principalement des produits chimiques comme agents d'extraction. L'hydroxyde de sodium *Idem* et l'hydroxyde de potassium ont été utilisés dans les traitements alcalins MC, tandis que l'acide sulfurique a été utilisé pour récupérer les glucides de l'hydrolyse acide diluée MC **Idem.**

(MAYANGA-TORRES *et al.*, 2017) ont proposé la récupération des composés de sucres à partir des résidus de l'industrie du café en utilisant l'hydrolyse de l'eau sous-critique comme technique de valorisation.

III.4.3. Récupération des composés phénoliques

Les polyphénols sont des micronutriments. Les avantages pour la santé des polyphénols et leurs effets protecteurs dans les systèmes alimentaires en tant que composés antioxydants sont bien connus et ont été largement étudiés en tant que paramètres.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Les conditions de processus optimales étaient : 244 W de puissance ultrasonique, 40 °C de température, 34 min de temps et 1:17 g/mL de ratio SL et les rendements d'extraction obtenus ont atteint 33,84 EAG/g de contenu phénolique total. La pulpe de cerise de café est un sous-produit dérivé du processus de production du café. La pulpe de cerise de café contient des quantités considérables de composés phénoliques et de caféine. Une tentative de production de « Cascara », une boisson rafraîchissante, a été faite par (ZABANIOTOU et KAMATEROU, 2019).

III.4.4. Récupération des tanins

Les tanins sont largement évalués comme alternatives naturelles aux antibiotiques dans l'alimentation (ZABANIOTOU et KAMATEROU, 2019).

(LOW et al., 2015) ont étudié l'influence des paramètres d'extraction dans la récupération des tanins MC. Ils ont découvert que la concentration d'hydroxyde de sodium, la température d'extraction et le rapport liquide sur solide affectaient considérablement le rendement d'extraction du tanin MC et sa réactivité. Le temps d'extraction n'avait qu'un effet marginal dans le processus d'extraction des tanins. Les conditions d'extraction optimales ont été trouvées : 5 % en poids de concentration d'hydroxyde de sodium, 100°C, température d'extraction, temps d'extraction de 30 min et rapport liquide sur solide de 8,2. Ces conditions ont entraîné un rendement d'extraction de tanin élevé (21,02% en poids) et une réactivité élevée. Les tanins ont traditionnellement été considérés comme « facteur anti-nutritionnel » pour la volaille. Des recherches récentes ont mentionné que, lorsqu'ils sont appliqués de manière appropriée, des solvants microbiens intestinaux améliorés pour l'extraction des lipides à partir de MC, ont été utilisés pour déterminer l'effet de la sélection et du processus du solvant. (ZABANIOTOU et KAMATEROU, 2019).

III.4.5. Récupération de caféine

La caféine, (1, 3,7-triméthylpurine-2,6-dione) , est un métabolite secondaire qui s'accumule pendant le développement du grain de café (SANTOS et al., 2021) Sa structure chimique est thermostable et offre de nombreuses actions/propriétés liées aux propriétés anti-

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

âge, photo protectrices, antioxydantes, anticellulite traitement, traitement de l'acné, entre autres. Outre son activité, une autre raison de l'utilisation de la caféine en dermocosmétique

comme adjuvant de protection solaire, agissant en synergie comme photo protecteur et photo stabilisant (ROSADO et al., 2019) Dans une formulation topique, il est important de considérer que même si la caféine est une substance hydrophile qui pénètre dans la peau, elle a tendance à précipiter selon son véhicule et peut former des amas non redispersables (FERNANDES et al., 2015 ; SANTOS et al., 2021).

(BRAZINHA et al., 2015) ont optimisé le processus de production d'un extrait naturel de MC en utilisant la technologie membranaire, sans solvants organiques ni adsorbants. Le produit extrait était enrichi en caféine avec des bienfaits spécifiques pour la santé.

III.5. Marc du café comme substrat pour les produits à valeur ajoutée

(LEIFA et al., 2001) ont rapporté l'action de *Flammulina velutipes*, une souche comestible de champignon sur MC. Ils ont établi la possibilité d'utiliser ce résidu comme substrat sans aucune supplémentation nutritionnelle dans des conditions SSF. MC est une riche source de protéines et a un haut teneur en humidité qui pourrait avoir contribué au facteur qui favorise la croissance des micro-organismes. En plus de Études ci-dessus, ont évalué la protéase production à partir *d'Aspergillus oryzae* en utilisant MC comme unique source de carbone. (MURTHY et NAIDU, 2010) Ont rapporté plus niveaux d'extraction des polyphénols des résidus de café sous FSS (GARCIA et al., 2015). Ont testé l'extraction de L'huile par utilisant la souche *Cupriavidus necator* H16 sur MC comme matière première matériau pour la production de polyhydroxybutyrate. Polyhydroxybutyrate a des propriétés mécaniques similaires polypropylène et est considéré comme une alternative au synthétique polymères (OBRUCA et al., 2014).

De nombreux constituants du marc de café cités précédemment peuvent être utilisés dans l'industrie de l'alimentation. Les polyphénols présents dans le marc de café sont aussi des composés d'intérêt pour l'industrie alimentaire. Ensuite, la composition en protéine du marc de café donne la possibilité de l'utiliser dans l'alimentation humaine. La haute teneur en BCAA et

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

la faible concentration en acides aminés aromatiques du marc de café sont recherchées pour produire des aliments physiologiquement fonctionnels et répondre à des besoins précis tels que la malnutrition issue de certaines maladies (cancer, brûlure, traumatisme, insuffisance hépatique, etc.). (CARASSOU, 2015).

Les polyphénols végétaux sont des composés chimiques importants car ce sont de puissants antioxydants capables de prévenir le développement du cancer. À cet égard, les grains de café et le marc de café épuisé sont enrichis de composés bioactifs tels que les polyphénols. Par exemple, l'acide chlorogénique et ses dérivés, à savoir. Les acides caféoylquinique, les acides feruloylquiniques, les acides p-coumaroylquiniques et les esters des acides caféique et férulique avec l'acide quinique sont présents dans les grains de café et le marc de café épuisé (ZUORRO et LAVECCHIA, 2012).

L'acide chlorogénique subit partiellement une isomérisation et une déshydratation pendant la torréfaction des grains de café, ce qui donne de la quinolactone et des composés isomérisés. Ces antioxydants peuvent être utilisés pour la production d'aliments fonctionnels et de compléments alimentaires à valeur ajoutée. Une étude a démontré qu'environ 90 % d'extraits phénoliques peuvent être obtenus à partir de café moulu épuisé en utilisant de l'éthanol aqueux au cours de la méthode d'extraction par solvant (ZUORRO et LAVECCHIA, 2012).

La récupération des composés phénoliques peut être encore améliorée en appliquant une optimisation de la surface de réponse. Le long de cette ligne, un procédé d'extraction solide-liquide utilisant du méthanol comme solvant est rapporté. Cependant, le méthanol est un composé toxique. Par conséquent, les applications des antioxydants obtenus par cette méthode sont limitées dans les industries de l'alimentation et des sciences de la vie (MUSSATTO *et al.*, 2011). (KARMEE, 2018).

Les grains du marc de café peuvent servir de support enzymatique pour des processus d'enrichissement en isoflavones dans le lait de soya. (CARASSOU, 2015).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Aussi, le marc de café possède une très bonne propriété émulsifiante qui peut être utilisée dans l'industrie alimentaire (**BALLESTEROS *et al.*, 2010**). (**CARASSOU, 2015**).

En raison de sa forte concentration en antioxydants, le MC a été étudié pour être utilisé dans l'industrie alimentaire pour ses bienfaits pour la santé. Il a été démontré que l'ajout de MC à la viande et à d'autres aliments fournit d'excellentes propriétés antioxydantes, tout en réduisant la croissance bactérienne pathogène et la détérioration des aliments. En plus d'être une bonne source d'antioxydants, il s'est également avéré riche en fibres et en acides aminés essentiels, et faible en sucres glycémiques. Des chercheurs ont également constaté que le MC dans un tube digestif simulé avait encore une activité prébiotique élevée après la digestion. Enfin, il a été découvert que la MC réduisait la libération de médiateurs inflammatoires, aidant ainsi à contrôler l'inflammation dans le côlon. Pour ces raisons, on pense qu'il s'agit d'un bon additif alimentaire qui peut réduire le risque d'obésité et de diabète. (**MCNUTT et HE, 2019**).

Les caroténoïdes sont des pigments largement utilisés dans les industries alimentaires, Divers microbes comme les levures, les champignons filamenteux, les bactéries et les algues sont capables de produire des pigments en utilisant des déchets organiques comme source de carbone. L'hydrolysat de marc de café épuisé a été consommé comme substrat par la levure *caroténogène Sporobolomyces roseus* pour la production de caroténoïdes (**OBRUCA *et al.*, 2015**). (**KARMEE, 2018**). Les tanins sont également des composés d'intérêt dans cette industrie. De cette manière, il est intéressant d'étudier les possibilités dans ce domaine (**MUSSATTO *et al.*, 2011**).

Aussi, le marc de café possède des propriétés probiotiques recherchées dans l'industrie alimentaire. Toutefois, le marc de café utilisé dans cette optique doit au préalable être dénué de mélanoides, car ces composés présents dans le marc de café possèdent une très bonne activité antimicrobienne. Cependant, grâce à cette propriété antimicrobienne, les mélanoides peuvent être utilisés pour lutter contre la croissance de pathogènes dans les aliments. (**ZAMORA *et al.*, 2015**) (**CARASSOU, 2015**).

En effet, le marc de café peut, par exemple, être utilisé pour la fabrication de spiritueux à saveur de café (**SAMPAIO *et al.*, 2013**). (**CARASSOU, 2015**).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Le MC a été utilisé comme boisson original ; en effet, une boisson distillée à l'arôme de café a été développée par extraction aqueuse de composés aromatiques à partir de MC, complétée par du sucre et la production d'éthanol. (SAMPAIO *et al.*, 2013).

III.6. Application des composés bioactifs de marc du café

Les composés bioactifs ajoutent une valeur substantielle à la nourriture industrie. Suppléments alimentaires et nutritifs (PAI *et al.*, 2022), colorant alimentaire viande, etc. contiennent tous composés bioactifs nécessaires au corps humain comme mentionné précédemment. Ils sont ajoutés comme exhausteur de goût comme ainsi, par exemple, les caroténoïdes, la curcumine et les anthocyanes sont utilisés comme colorants ; l'acide ascorbique est largement utilisé comme additif pour empêcher l'oxydation des aliments ; Vanilline et le cinnamaldéhyde sont utilisés comme aromatisants. Fermentation est l'un des principaux domaines de l'industrie alimentaire qui produit beaucoup de composés bioactifs. Telles que les protéines unicellulaires utilisées comme source alternative pour protéine *Idem*.

Acide lactique utilisé pour l'acidulation et préservation *Idem* ;

Xanthane utilisé comme émulsifiant, épaississant et stabilisant *Idem*

Laccase utilisée pour la cuisson et dans la boisson l'industrie comme stabilisateur *Idem* ;

astaxanthine utilisé comme colorant *Idem*; acide citrique utilisé comme agent de conservation et aromatisant des aliments *Idem*; acide fumarique utilisé comme acidulant *Idem* et d'autres.

Les sources principales de ces composés bioactifs sont les fruits, les déchets de plantes, de fruits et de légumes comme les épiluchures, graines et marc *Idem*.

III.6.1. Activité Anti Microbienne du marc de café

Une façon de diminuer la concentration de co-contaminants toxiques dans les hydrolysats LC consiste à appliquer l'une des méthodes de détoxification. montre les grands principes et méthodes de détoxification utilisés pour l'élimination des composés phénoliques et des produits de dégradation des sucres des hydrolysats LC. Les composés phénoliques peuvent

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

être extraits des MC avant l'hydrolyse (KOVALICIK et al., 2018) ou leur présence dans les hydrolysats peut être éliminée par l'application de méthodes de détoxification post-traitement *Idem.*

Une efficacité de l'étape de détoxification sur l'élimination des inhibiteurs ainsi qu'un effet final sur la fermentation bactérienne ont une efficacité différente sur la croissance des bactéries *Idem.*

L'une des raisons à cela peut être une baisse de la concentration en sucre due au traitement de détoxification (par exemple, surchaulage, traitement alcalin avec NH₄OH et adsorption par des résines échangeuses d'ions). Une autre raison peut être l'induction d'un stress osmotique après des traitements alcalins. Dans certains cas, l'extraction d'inhibiteurs microbiens potentiels (par exemple les composés phénoliques) est plus préférable qu'une étape de détoxification post-hydrolyse en raison de la concentration stable de sucres fermentescibles *Idem.*

De plus, les composés phénoliques pré-extraits peuvent être utilisés comme produit secondaire de grande valeur *Idem.*

III.6.2. Application Marc de café dans les polymères

Les matériaux polymères ont été largement utilisés comme matériaux d'emballage étant donné qu'ils sont de nature légère, relativement faciles à produire, résistants à la corrosion et ont propriétés mécaniques et thermiques appropriées, entre autres caractéristiques (ZHANG et al., 2022). Dans le cas des produits alimentaires, l'emballage vise principalement à éviter la détérioration des aliments pendant plusieurs étapes comprenant la production, le stockage, la distribution, la vente et même la manutention à domicile. Dernièrement, les fonctions des emballages alimentaires ont été étendues pour inclure l'augmentation de la durée de conservation, la minimisation des déchets et la commercialisation (HAN et al., 2018). Certaines des avancées récentes en termes de recherche sur les emballages alimentaires à base de polymères sont associées à la réduction de leur impact environnemental en utilisant des polymères biodégradables comme matériaux alternatifs aux plastiques conventionnels à base de

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

combustibles fossiles. Depuis agricole les déchets tels que le MC sont une riche source de polysaccharides, quelques études se sont concentrées sur la production de films biopolymères utilisant la fraction riche en polysaccharides de MC comme précurseur matériel (**BATISTA et al., 2020 ; COELHO et al.,2021**). Les glucomannanes, qui représentent la fraction principale des polysaccharides présents dans MC, sont des molécules de haut poids moléculaire à faible degré de ramification, comprenant un squelette de résidus de mannose liés à (1 !4) et des unités sporadiques de résidus de mannose liés à (1 !4) glucose, avec O-6 galactoses à liaison simple (1 !6) et arabinose à liaison simple (1 !5) résidus. Les glucomannanes MC sont insolubles dans l'eau et forment des produits très visqueux et stables solutions aqueuses de $ZnCl_2$ qui ont une capacité filmogène, donc très intéressantes matières premières pour la production de films ou de revêtements comestibles et biodégradables pour aliments applications (**OLIVEIRA et al.,2020 ; BATISTA et al.,2020 ; COELHO et al.,2021**). Des biofilms principalement composés de glucomannanes ont été produits à l'aide de MC soumis à des traitements alcalins et enzymatiques (**BATISTA et al., 2020 ; COELHO et al.,2021**).

Une compilation des dernières études qui traitent de l'application du MC dans les composites polymères sont présentées dans le (**Tableau. III.2**).

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Tableau. III. 2. Quelques applications récentes du MC comme charges dans les polymères (FRANCA et OLIVEIRA, 2022).

Traitement MC	Polymère/Traitement	Principaux effets de l'ajout de MC	
Élimination de l'huile de café par Extraction de l'hexane par Ultrasons	Polypropylène/extrudé	Amélioration mécanique et thermique Propriétés	(WU <i>et al.</i> , 2016)
Torréfaction	Poly (butylène Adi pate Co téréphtalate) /extrusion	Amélioration de la thermomécanique Propriétés et hydrophobicité accrue	(MOUSTAFA <i>et al.</i> , 2017)
Traitement alcalin	Huile de soja époxyde/chauffage et Guérir	Amélioration significative de la mécanique Propriétés	(THIAGAMANI <i>et al.</i> , 2017)
Traitement alcalin	Cellulose/coulée	Augmentation de la résistance à la traction et thermique La stabilité	(TARAZONA <i>et al.</i> , 2017)

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Traitement alcalin, blanchiment Et mélange avec couplage Agent	Polypropylène/extrudé	Amélioration des propriétés mécaniques	(ESSABIR <i>et al.</i>, 2018)
Sans traitement	Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-Hydroxy valérate) /coulée	Diminution de la résistance à la traction, légère augmentation de Élongation	(MUTHU KUMAR <i>et al.</i>, 2019)
Sans traitement	Pectine/coulée continue	Augmentation de la perméabilité à l'eau/amélioration En propriétés thermiques	(MENDES <i>et al.</i>, 2019)
Sans traitement	Chauffage de l'amidon/micro-ondes	Broyage (MC à partir d'éthanol Extraction)	(GAZONATO <i>et al.</i>, 2019)
Broyage MC à partir d'éthanol Extraction)	Poly lactide + acide lactique Oligomères/extrusion	Augmentation de la ductilité	(TERROBA-DELICADO <i>et al.</i>, 2022)
Pyrolyse lente	Polyéthylène téréphtalate + linéaire Polyéthylène basse densité/extrusion	Amélioration du module de flexion et Propriétés thermiques	(GUPTA <i>et al.</i>, 2022)

III.7. Activité antioxydante du marc de café

Le marc de café usé MC peut être un bon produit naturel source antioxydante applicable aux différentes oxydations aliments sensibles tels que les huiles et les graisses, les

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

jus de fruits, les aliments riches en graisses produits laitiers et bien d'autres. Plusieurs antioxydants phénoliques tels que l'acide tannique, l'acide chlorogénique, la caféine, des polysaccharides antioxydants et des mélanoidines (un composé généré lors de la torréfaction du café) pourrait être bon ingrédient alimentaire antioxydant. Récemment, les gens sont plus destinés à utiliser ce nouvel ingrédient fonctionnel différent formulations de confiserie, produits de boulangerie, boissons, confiserie, produits prêts-à-manger et snacks (ARYA et al., 2021). La date bibliométrique révèle que les nombreux rapports décrivant les capacités antioxydantes de différents MC. La capacité antioxydante de l'Arabica, du Robusta et du Liberica était évalué par *Idem*.

(ARYA et al., 2021) ont optimisé les conditions d'extraction à l'aide d'une membrane la technologie et l'extraction de liquide sous pression respectivement. L'extrait était riche en caféine (09 mg/g db) qui pourrait être utilisé comme additif alimentaire naturel, agent antimicrobien, colorant dans plusieurs formulations alimentaires *Idem*.

III.8. Application du marc de café dans divers domaines

En plus du domaine alimentaire et de santé, le marc de café se trouve dans plusieurs secteurs, comme l'énergie, l'environnement, construction.

Le diagramme suivant résume les différentes voies de valorisation du marc de café.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

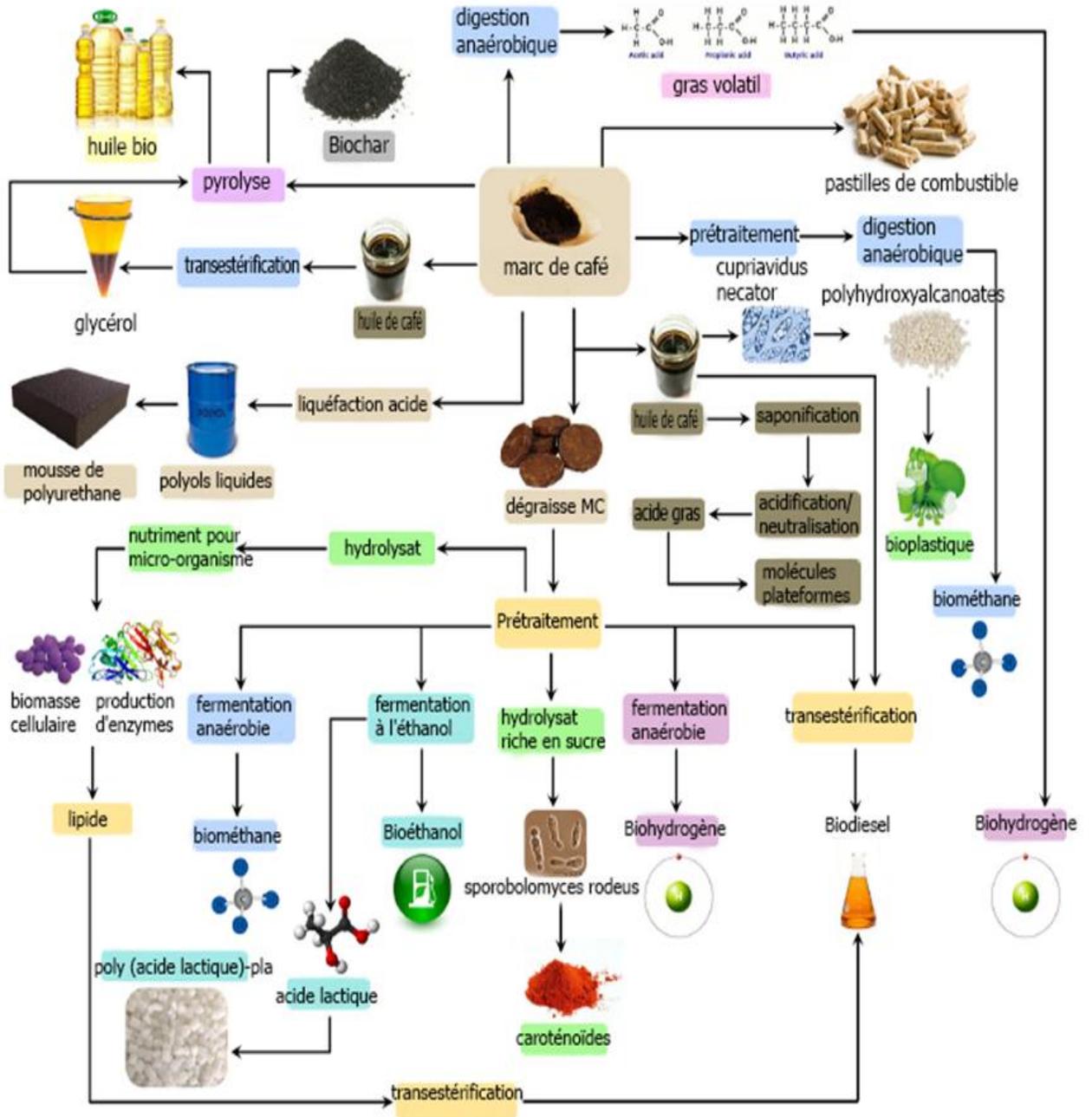


Figure.III.1 . Biorefinerie de marc de café et voies de valorisation possibles (RAJESH BANU *et al.*,2021)

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

III.9. Conclusion

Le marc de café est un déchet issu de la production de café instantané et de l'infusion de café, qui est l'une des boissons les plus consommées au monde après l'eau ; et il est le deuxième produit commercialisé au monde derrière le pétrole.

D'après les résultats de l'étude bibliographique de ce chapitre nous pouvons constater que le résidu du marc de café de par sa composition chimique varié et riche et ses caractéristiques physicochimiques, peut être utilisé comme ressource quasiment gratuite et par conséquent permet d'opter pour des solutions de valorisation à forte valeur ajoutée dans des domaines aussi divers que l'alimentaire, l'agronomie, la nutraceutique, la pharmacie, les matériaux, l'environnement, l'énergie, ...

Le marc de café peut être utilisé pour la fabrication des biopolymères (emballage alimentaires), pour la récupération de divers substances à fort potentiel dans le domaine alimentaire, thérapeutique et cosmétique comme les huiles , les polysaccharides , les composés phénoliques , les tanins, la caféine... et comme agent antimicrobien et antioxydant.

Suite à sa composition chimique, des études toxicologiques et écotoxiques doivent être menées avant toute application potentielle.

Jusqu'à présent, la plupart des techniques de valorisation du marc de café sont réalisées à l'échelle de laboratoire. Les recherches futures doivent se canaliser sur une étude technico-économique de la production des composés bioactifs à l'échelle industrielle.

Des études plus poussées des propriétés et des caractéristiques du marc de café et de ses fonctionnalités est plus que nécessaire pour tirer le maximum de ses qualités en des applications dans le domaine alimentaire tout particulièrement.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

Références Bibliographiques

A

1. **ANDRADE C, PERESTRELO R, JOSE S, CAMARA J.S., 2022** - Valorization of Spent Coffee Grounds as a Natural Source of Bioactive Compounds for Several Industrial Applications—A Volatilomic Approach. *Foods* , 11 :31270-901.
2. **ARYA S, RAHUL V, PAVANKUMAR R, POORNIMA V, 2021**- a review The wastes of coffee bean processing for utilization in food. *J Food Sci Technol* .,59 :429–444.

B

3. **BALLESTEROS L.F, TEIXEIRA J.A, ET MUSSATTO S.I, 2010** - Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silver skin. *Food Bioprocess Technol.*, 7: 3493-3503.
4. **BALLESTEROS L.F, TEIXEIRA J.A, ET MUSSATTO S.I, 2014** - Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol.*, 7:3493- 3503.
5. **BRAZINHA C, CADIMA M, CRESPO J.G., 2015.** -Valorisation of spent coffee through membrane processing. *J. Food Eng.*,149 :123-130.

C

6. **CARASSOU, 2015** - *une récupération spécifique du marc de café aurait-elle une plus-value pour la communauté.* Essai, maîtrise en environnement Univ. DE SHERBROOKE .103p
7. **COELHO G.O, BATISTA M.J, ÁVILA A.F, FRANCA A.S, OLIVEIRA L.S., 2021**- Development and characterization of biopolymeric films of galactomannans recovered from spent coffee grounds. *J. Food Eng.*, 289 :110083.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

f

8.FERNANDES E. M., DAMASCENO G. A., FERRARI M., et AZEVEDO E. P.,2015 - Dissolutionenhancement of caffeine in the ammonium acryloyldimethyltaurate/vp copolymer base:*Pharmaceutical development of anti-cellulite gels .*, (36): 69–75.

g

9.GARCIA- GUTIERREZ N, MALDONADO-CELIS M, ROJAS-LOPEZ M, LOARCA-PINA G.F, CAMPOS-VEGA R, ET FUNCT J, 2017 - Foods., 30 : 237.

10.GARCIA- GARCIA, D., CARBONELL, A., SAMPER, M.D., GARCIA.SANOQUERA, D., BALART, R., 2015. *Green composites based on polypropylenematrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder.* *Compos. B: Eng.* p78, 256–265.

11.GEBREEYESSUS G. D., 2022 -Review Towards the sustainable and circular bioeconomy: Insights on spent coffee grounds valorization ; *Science of the Total Environment*, 833 :155113.

12.GETACHEW A.T,AHMAD R,PARK J.S , CHUN B .S.,2021 -Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground. *Food Packag. Shelf Life* , 29 : 100735.

h

13.HAN J, W. RUIZ-GARCIA L, QIAN J, P, YANG X, T.,2018 -Food Packaging : A Comprehensive Review and Future Trends. *Compr. Rev. Food Sci.* , 17 : 860–877.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

14.HUSSEIN A, ALI H, BAREH G, FAROUK A., 2013-Influence of spent coffee ground as fiber source on chemical, rheological and sensory properties of sponge cake. *Pak. J. Biol. Sci.*, 22 : 273–282.



K

15.KARMEE S.K., 2018 - A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and bio composites. *Waste Management.*, 72:240–254.

16.KIM J.H, AHN D.U, EUN J.B, MOON S.H.,2016 -Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants ., Agriculture and Natural Resources.*,51 ;181-189.

17.KLINGEL T, KREMER J.I, GOTTSTEIN V, RAJCIC DE REZENDE T, SCHWARZ S, LACHENMEIER D.W .,2020 -A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the european union. *Foods* 9(5):665

18.KOVALCIK A, OBRUCA S, ET MAROVA I.B., 2018 - Valorization of spent coffee grounds : A review *Food and Bioproducts Processing.*, 110 :104 -119.



L

19. LEIFA F, PANDEY A, SOCCOL C .R.,2001 -Production of flammulina velutipes on coffee husk and coffee spent-ground. *Braz Arch Biol Technol* 44(2) :205–212.

20.LIU T, FENG C, LI Z, GU Z, BAN X, HONG Y, CHENG L, LI C., 2021-Efficient formation of carvacrol inclusion complexes during -cyclodextrin glycosyltransferase-catalyzed cyclodextrin synthesis. *Food Control.*, 130 :108296.

21.LOW J.H, RAHMAN, W.A.W.A., JAMALUDDIN, J., 2015. The influence of extraction parameters on spent coffee grounds as a renewable tannin resource. *J. Clean. Prod.* 101, 222-228.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

M

22.MACHADO E, MUSSATTO S, TEIXEIRA J, VILANOVA M , OLIVEIRA J.,2018
Increasing the sustainability of the coffee agro-industry: Spent coffee grounds as a source of new beverages. *Beverages*, 4 : 105

23.MARTINEZ-SAEZ N, GARCIA A.T, PEREZ I.D, REBOLLO-HERNANZ, M, MESIAS M,MORALES F.J, MARTIN-CABREJAS, M.A.; DEL CASTILLO, M.D.,2017
-Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem.* , 216 : 114–122.

24.MASINO F. MONTEVECCHI G. CALVINI, R. FOCA, G.; ANTONELLI, A.,2022 -
Sensory evaluation and mixture design assessment of coffee-flavored liquor obtained from spent coffee grounds. *Food Qual. Prefer.*, 96 : 104427.

25.MCNUTT J, ET HE Q S, 2019 - Spent coffee grounds : A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.*, 71 : 78–88.

26.MEERASRI J, SOTHORNVIT R.,2022 -Novel development of coffee oil extracted from spent coffee grounds as a butter substitute in bakery products. *J. Food Process. Preserv*, 26 :7-16687.

27.MURTHY P. S, ET NAIDU M., 2012- Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling.*, 66 : 45-5.

28.MUSSATTO S.I, MACHADO E.M.S, MARTINS S. ET TEIXEIRA J.A., 2011 -
Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food Bioproc. Tech.*, 4 : 661–672.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

a

29.OBRUCA S, BENESOVA P, KUCERA D, PETRIK S.ET MAROVA I., 2015- Biotechnological conversion of spent coffee grounds into polyhydroxyalkanoates and carotenoids. *New Biotechnol.* 32 : 569–574.

30.OBRUCA S, PETRIK S, BENESOVA P, SVOBODA Z, EREMKA L. ET MAROVA I, 2014 - Utilization of oil extracted from spent coffee grounds for sustainable production of polyhydroxyalkanoates. *Appl Microbiol. Biotechnol.*, 98 : 5883–5890.

31.OLIVEIRA - ARIAS J, DELGADO- ARIAS S, CANO L, ZAPATA S, QUINTERO M, NUNEZ H, RAMIREZ C, SIMPSON R. AND VEGA- CASTRO O., 2020 - Sustainable Management and Valorization of Spent Coffee Grounds through the Optimization of Thin Layer Hot Air- Drying Process. *Waste and Biomass Valorization.*, 11 :5015–5026.

P

32.PAI S, HEBBAR A, SELVARAJ S., 2022 - Review A critical look at challenges and future scopes of bioactive compounds and their incorporations in the food, energy, and pharmaceutical sector ; *Environmental Science and Pollution*, 29:35518–35541

33.PHIMSEN S, KIATKITTIPONG W, YAMADA H, TAGAWA T, KIATKITTIPONG, K, LAOSIRIPOJANA N, ASSABUMRUNGRAT S, 2016. -Oil extracted from spent coffeegrounds for bio-hydrotreated diesel production. *Energy Convers. Manag.* 126 :1028-1036.

R

34.ROSADO C., TOKUNAGA, V. K., SAUCE, R., DE OLIVEIRA, C. A., SARRUF, F. D., PARISE-FILHO, R., 2019 - Another reason for using caffeine in dermocosmetics: Sunscreenadjuvant. *Frontiers in Physiology*, p10.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

35.RAJESH BANU J, YUKESH KANNAH R, DINESH KUMAR M, KAVITHA S, GUNASEKARAN M, ZHEN G, AWASTHI K, M, KUMAR G.,2021-Spent coffee grounds based circular bioeconomy: Technoeconomic and commercialization aspects., *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 152: 111721.

36.REIS N, Franca A.S, Oliveira L.S., 2013-. Performance of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy and chemometrics for detection of multiple adulterants in roasted and ground coffee. *LWT.*, 53:395–401.

37.REIS N, BOTELHO B.G, FRANCA A.S, OLIVEIRA L.S.,2017- Simultaneous detection of multiple adulterants in ground roasted coffee by ATR-FTIR spectroscopy and data fusion. *Food Anal. Methods.*, 10: 2700–2709.



38.SAMPAIO A, DRAGONE G , VILANOVA M, OLIVEIRA J.M, TEIXEIRA J.A ,MUSSATTO S.I., 2013 - Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground. *LWT.*, 54 :557–563.

39.SANTOS E.M., DE MACEDO L.M., TUNDISI L.L., ATAIDE J.A., CAMARGO G.A., ALVES R.C., OLIVEIRA M.B.P.P. ET MAZZOLA P.G., 2021 - Coffee by-products in topical formulations: A review. *Trends in Food Science & Technology.*, 111: 280–291.

40.SHARMA A, RAY A, SINGHAL R.S.,2021 -A biorefinery approach towards valorization of spent coffee ground: Extraction of the oil by supercritical carbon dioxide and utilizing the defatted spent in formulating functional cookies. *Future Foods* , 4 :100090.

41.SOMNUK K, EAWLEX P, PRATEEPCHAIKUL G., 2017.- Optimization of coffee oil extraction from spent coffee grounds using four solvents and prototype-scale extraction using circulation process. *Agriculture and Natural Resources* 51 :181-189.

Chapitre III : Valorisation du Marc de Café dans le domaine alimentaire

3

42.ZABANIOTOU A. KAMATEROU P., 2019 - Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy-A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. *J. Clean. Prod.*, 211, 1553–1566.

43.ZAMORA A.J., PASTORIZA S. ET HENARES J.A.R., 2015 - Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology.*, 61: 12-18.

44.ZHANG S. YANG J, WANG S, RUPASINGHEH.P, HE Q., 2021-Experimental exploration of processes for deriving multiple products from spent coffee grounds. *Food Bioprod. Process.*, 128: 21–29.

45.ZUORRO et LAVECCHIA, 2012 A., LAVECCHIA R., 2012 - Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production.*, 34 : 49-56.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a eu comme objectif d'exposer la problématique de la valorisation du déchet du marc de café dans le domaine alimentaire en particulier; et ceci à travers des études bibliographiques tirées de la littérature scientifique.

Ce travail de mémoire est construit autour de trois piliers qui forment trois chapitres :

1. Le premier chapitre est une étude bibliographique non exhaustive sur le fruit du café qui décrit du point de vue botanique, végétale et écologique.
2. Le deuxième chapitre porte sur une synthèse bibliographique non complète sur les propriétés physicochimiques et la composition biochimique du marc de café et les molécules bioactives que recèle ce déchet de consommation.
3. Le troisième chapitre est consacré aux applications dans le secteur alimentaire en particulier du marc de café brut ou traité ; et aux composés bioactifs obtenus après extraction.

Les caféiers sont des arbres ou des arbustes endémiques des régions intertropicales, appartenant à la famille des Rubiacées et originaires des régions tropicales d'Afrique et d'Asie.

Parmi les espèces de ce fruit, seulement deux espèces sont cultivées de manière significative, **Coffea arabica L.** et **Coffea canephora.**

La production et la consommation de ce produit ne cessent d'augmenter à travers le monde ; Le café contient environ 2000 produits chimiques en plus de la caféine, ces composés bioactifs ont des effets potentiels sur la santé ;.

La production, ainsi que la transformation et la consommation de boisson engendrent des résidus et des déchets qu'il faut impérativement traiter et valoriser.

D'après la composition chimique du marc de café, nous pouvons constater qu'il recèle des molécules à très fort potentiel comme les polyphénols, tanins, caféine pectine..., ces biomolécules après extraction peuvent trouver des applications dans divers secteurs et tout particulièrement dans le domaine agroalimentaire.

L'étude a montré que le marc de café ; résidu, caractérisé par une composition chimique varié et riche et par son abondance, n'est plus considéré comme un déchet, mais plus comme une mine d'or pour la production de biocarburants et de composés chimiques et

Conclusion générale

par conséquent permet d'opter pour des solutions de valorisation à forte valeur ajoutée dans des domaines aussi divers que l'alimentaire, l'agronomie, l'environnement, l'énergie, les matériaux, la nutraceutique, pharmacie...

Le marc de café souvent considéré à tort comme un déchet, c'est en réalité une mine d'or. En effet, sa composition chimique, riche et variée, permet d'envisager des solutions de valorisation à forte valeur ajoutée dans des domaines aussi divers que l'énergie, les matériaux, la nutraceutique, la cosmétique...

Au terme de cette recherche bibliographique nous tenons à indiquer que cet examen des possibilités de valorisation du marc de café reste préliminaire. Il est utile d'approfondir cette approche de la gestion des déchets.

Le présent travail est loin de venir à bout des buts assignés et à la lumière des informations obtenues, il est préférable de prolonger et de compléter cette étude par des approches plus approfondies portant sur les points suivants :

- ✚ L'analyse physicochimique du marc de café généré localement;
- ✚ Réalisation d'enquêtes sur la consommation du café à travers les différentes Wilayas ;
- ✚ Création de banque de données scientifique concernant les types de valorisation du marc de café;
- ✚ Réalisation de tests de toxicité et d'écotoxicité du marc de café ;
- ✚ Emploi des techniques d'optimisation pour l'extraction et la purification des composés du marc de café ;
- ✚ Mettre en œuvre les applications de ce biodéch et dans le domaine, agroalimentaire et dans d'autres secteurs.
- ✚ Etude technico-économique de la faisabilité de valorisation du marc de café...

ملخص:

القهوة هي ثاني أكثر المنتجات تداولاً بعد البترول وثاني أكثر المشروبات شعبية بعد الماء. ينتج عن إنتاجها ومعالجتها واستهلاكها كميات هائلة من النفايات والمنتجات الثانوية، وخاصة نفل القهوة؛ بسبب وفرتها وتركيبها الكيميائي الغني بالمركبات النشطة بيولوجياً التي يتم الحصول عليها بعد الاستخلاص، مثل الكافيين والسكريات والمركبات الفينولية والعفص... يمكن تقييمها واستخدامها في مختلف المجالات مثل الصحة والغذاء والزراعة والطاقة والمواد والكيمياء. تقدم هذه الدراسة اختياريًا ببيولوجياً غير شامل لإمكانية إعادة تدوير نفايات القهوة في المجالات الغذائية والعلاجية. يمكن تطبيق التقنيات المبتكرة مثل التكنولوجيا الحيوية والكيمياء الخضراء ومبادئ التنمية المستدامة والاقتصاد الحيوي الدائري لتحسين التقنيات الحالية وإنشاء أخرى.

الكلمات المفتاحية: نفل القهوة، التثمين، استخلاص، المركبات النشطة بيولوجياً.

Résumé :

Le café est le deuxième produit commercialisé après le pétrole et la deuxième boisson la plus populaire après l'eau ; sa production, sa transformation et sa consommation génèrent d'énormes quantités de déchets et de sous-produits, en particulier le marc de café; de part son abondance et sa composition chimique riche en composés bioactifs obtenus après extraction, comme la caféine, les polysaccharides, les composés phénoliques, les tanins... il peut être valorisé et utilisé dans divers domaines comme, la santé, l'alimentation, l'agriculture, l'énergie, les matériaux et la chimie. Cette étude présente une sélection bibliographique non exhaustive des potentialités de valorisation du déchet du marc de café dans le domaine alimentaire et thérapeutique. L'application des techniques innovantes comme la biotechnologie, la chimie verte et les principes du développement durable et de la bioéconomie circulaire peuvent améliorer les techniques actuelles et créer d'autres.

Mots clés : Marc de café, Valorisation, Extraction, Composé Bioactif.

Abstract

Coffee is the second most traded product after petroleum and the second most popular beverage after water; its production, processing and consumption generate huge amounts of waste and by-products, especially coffee grounds; due to its abundance and its chemical composition rich in bioactive compounds obtained after extraction, such as caffeine, polysaccharides, phenolic compounds, tannins... it can be valued and used in various fields such as health, food, agriculture, energy, materials and chemistry. This study presents a non-exhaustive bibliographical selection of the potential for recycling coffee grounds waste in the food and therapeutic fields. The application of innovative techniques such as biotechnology, green chemistry and the principles of sustainable development and the circular bioeconomy can improve current techniques and create others.

Keywords: Coffee grounds, Valorization, Extraction, Bioactive Compound